

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА СССР**

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И  
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ  
ПО СЕЛЬСКОМУ  
СТРОИТЕЛЬСТВУ**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО  
И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬ-  
НОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР**

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИН-  
ЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
ИНСТИТУТ  
(Симферопольский филиал)**

**РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ,  
ИЗГОТОВЛЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ  
БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ  
ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ  
СЕЛЬСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И  
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ  
ПО СЕЛЬСКОМУ  
СТРОИТЕЛЬСТВУ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО  
И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬ-  
НОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИН-  
ЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
ИНСТИТУТ  
(Симферопольский филиал)

# **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, ИЗГОТОВЛЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

СОГЛАСОВАНЫ:  
ГУКСом Минсельхоза СССР  
26 июня 1983 г.

**"РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, ИЗГОТОВЛЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА"** разработаны Симферопольским филиалом ДАСИ, ЦНИИЭПсельстроем Минсельстроя СССР и НИИЛБ Госстроя СССР при участии ВЗИСИ, ВЗПИ, МИСИ Минвуза СССР, Укрмежколхозстроя, Крымского филиала института Укрколхозпроект, Крымоблмежколхозстроя.

Настоящие Рекомендации разработаны в развитие главы СНиП II-2I-75 "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования" и содержат основные положения по проектированию, изготовлению и применению шлакощелочных бетонов, бетонных и железобетонных конструкций на их основе. В Рекомендациях приведены данные о шлакощелочных цементах и заполнителях, по подбору составов шлакощелочных бетонов, их физико-механическим свойствам, расчету, конструированию, изготовлению и применению конструкций для производственных, промышленных, культурно-бытовых сельских зданий и сооружений, жилых домов, дорожного и водохозяйственного сельского строительства.

Рекомендации предназначены для ИТР проектных, научно-исследовательских и производственных организаций, заводских и строительных лабораторий.

Печатается по решению секции  
Ученого совета ЦНИИЭПсельстроя  
от 23 марта 1983г.

Утверждены директором  
ЦНИИЭПсельстроя  
15 июня 1983г.

Согласованы с начальником  
ГУКСа Минсельхоза СССР  
26 июня 1983г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие Рекомендации содержат положения по проектированию, производству и применению бетонных и железобетонных обычных и предварительно-напряженных конструкций из тяжелых бетонов на шлакощелочных цементах для сельского строительства.

Шлакощелочные цементы обладают высокой активностью. Марка шлакощелочных цемента достигает 800-1000, являются особо быстро-твердеющими, обладают способностью схватывания и твердения при отрицательных температурах.

Высокая активность шлакощелочных цемента позволяет получать бетоны марок М1000 включительно и интенсифицировать процессы производства конструкций.

Благодаря высокой активности и низкой стоимости шлакощелочные цементы представляют широкие возможности использования местных некондиционных заполнителей для производства строительных материалов и изделий различных видов, что значительно расширяет сырьевую базу строительства.

Рекомендации разработаны в развитие главы СНиП П-21-75 [1] "Бетонные и железобетонные конструкции...". Они содержат дополнительные требования по проектированию конструкций, учитывающие физико-химические, физико-механические, деформативные и другие особенности шлакощелочных цемента, тяжелых шлакощелочных бетонов и конструкций из этих бетонов, приближенные способы расчета конструкций, технологии производства цемента, бетонов и конструкций, основные физико-механические характеристики бетонов и конструкций на шлакощелочных цементах.

В Рекомендациях изложены основные положения по расчету и проектированию бетонных и железобетонных конструкций с обычной

и предварительно-напряженной арматурой, приведены прочностные и деформативные характеристики тяжелых бетонов на шлакощелочных цементах, методы расчета прочности, несущей способности, образования и раскрытия трещин, деформативности железобетонных элементов из шлакощелочных бетонов, технические требования и технологии изготовления шлакощелочных цемента, бетонов и конструкций на их основе, определена область применения бетонов и конструкций.

При разработке Рекомендаций учтены основные положения, изложенные в "Руководстве по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения)" (ЦНИИПромзданий, НИИЖБ, М., Стройиздат, 1977); "Руководстве по проектированию предварительно-напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона" (ЦНИИПромзданий, НИИЖБ, М., Стройиздат, 1977), "Рекомендациях по расчету конструкций из шлакощелочных бетонов" (НИИЖБ Госстроя СССР, М., 1983).

"Рекомендации по проектированию, изготовлению и применению бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых шлакощелочных бетонов для сельского строительства" разработаны Симферопольским филиалом ДУСИ (кандидаты техн. наук В.А.Пахомов, А.П.Троценковский, А.А.Любимов, С.Ф.Крисанов, инженеры В.В.Яггина, В.Б.Камаев, С.М.Соловьев, В.С.Чадин, Ю.А.Шешляков), ЦНИИЭПсельстроем (кандидаты техн. наук П.В.Чичков, В.В.Константинов) и НИИЖБом Госстроя СССР (канд. техн. наук Р.Л.Серых) при участии ВЗИСИ (докт. техн. наук, проф. В.М.Бондаренко), ВЗПИ (докт. техн. наук, проф. Ю.А.Зайцев), МИСИ (канд. техн. наук, доц. Л.А.Сильченко), Минвуза СССР, Минсельхоза СССР (инж. В.Н.Мерзляков), Укрмежколхозостроя (Н.А.Кулинич), Крымоблмежколхозостроя (инж. Ф.И.Понедельников), КФ института Укрколхозпроекта (инж. В.В.Мельник), КТБ "Стройиндустрия" Минпромстроя СССР (инж. А.Р.Тюменев).

Основой для разработки Рекомендаций явились исследования, выполненные в НИИЛБЕ Госстроя СССР, Симферопольском филиале ДИСИ, ЦНИИЭПсельстрой, КИСИ, НИИСПе, Криворожском ГИИ и др. институтах, а также опыт внедрения и эксплуатации конструкций из бетонов на шлакощелочных цементах на стройках Киевской области, Крыма, Донбасса, Запорожья, Кривого Рога, Тулы, Перми, Новгорода, Алма-Аты и др.

Ответственные исполнители разделов: по расчету конструкций - В.А. Пахомов, Р.Л. Серых, по технологии - В.В. Константинов, А.П. Троценовский.

Замечания и предложения по содержанию настоящих Рекомендаций просим направлять в ЦНИИЭПсельстрой по адресу: 129272, Москва, И-272, ул. Трифоновская, 47.

Дирекция ЦНИИЭПсельстрой.

## РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

### I. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование, изготовление и применение бетонных и железобетонных обычных и предварительно-напряженных конструкций из тяжелых бетонов плотной структуры на шлакощелочных цементах.

Монолитные и сборные бетонные и железобетонные конструкции из тяжелых бетонов на шлакощелочных цементах применяются для возведения производственных, промышленных, культурно-бытовых сельских зданий и сооружений (основания, фундаменты, несущие и ограждающие конструкции), жилищного, дорожного и водохозяйственного сельского строительства, а также подземных сооружений.

Температура эксплуатации конструкций из шлакощелочных бетонов должна быть не выше  $50^{\circ}\text{C}$  и не ниже минус  $70^{\circ}\text{C}$ .

Примечания:

1. В конструкциях, проектируемых в соответствии с настоящими Рекомендациями, применяются как крупнозернистые, так и мелкозернистые бетоны. Кроме того, мелкозернистый бетон применяется для заполнения швов в сборных конструкциях, для защиты от коррозии и обеспечения сцепления с бетоном напрягаемой арматуры, расположенной в каналах, пазах и на поверхности конструкций, а также для защиты от коррозии стальных закладных деталей.

2. Настоящие Рекомендации не распространяются на расчет и проектирование конструкций, эксплуатируемых в районах с сухим и жарким климатом.

I.2. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелых шлакощелочных бетонов (ВШЩБ) следует проектировать в соответствии с основными положениями пп. I.1 и I.23 главы СНиП [ I ] .

**1.3.** Выбор конструктивных решений должен производиться, исходя из технико-экономической целесообразности их применения в конкретных условиях строительства с учетом максимального снижения материалоемкости, трудоемкости и стоимости строительства, достигаемого путем:

применения эффективных строительных материалов и конструкций;  
снижения веса конструкций;

наиболее полного использования физико-механических свойств материалов, отходов различных производств, вторичного попутного сырья;

соблюдения требований по экономичному расходованию основных строительных материалов.

При проектировании изделий и конструкций из шлакощелочных бетонов необходимо учитывать их особенности, указанные в настоящих Рекомендациях.

**1.4.** Предельные величины предварительного напряжения  $\sigma_0$  и  $\sigma_0'$ , а также величины напряжений в напрягаемой арматуре  $A$  и  $A'$ , контролируемые по окончании напряжения на упоры или на затвердевший бетон, следует определять по пп. 1.24, 1.25 главы СНиП [1] (рис. 1).

**1.5.** При расчете предварительно-напряженных элементов следует учитывать потери предварительного напряжения арматуры.

При натяжении арматуры на упоры учитывают:

а) первые потери - от релаксации напряжений в арматуре, температурного перепада, деформации анкеров, трения арматуры об огибившие приспособления, деформации формы (при натяжении арматуры на формы, быстронатекающей ползучести бетона);

б) вторые потери - от усадки и ползучести бетона.

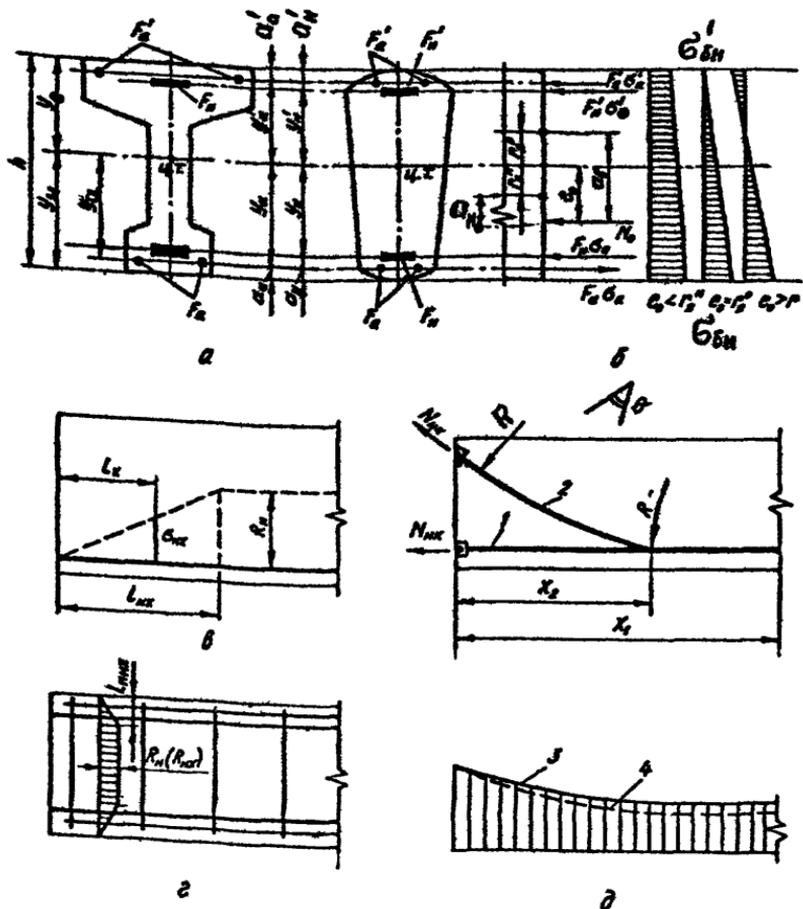


Рис. 1. Схемы распределения усилий в железобетонных элементах конструкций:  
 а - поперечные сечения ; б, в - эпюры напряжений ;  
 г - схема зоны анкеровки ; д - схема изменения усилий в напрягаемой арматуре ; 1,2 - прямолинейная и криволинейная напрягаемая арматура ; 3,4 - усилия в напрягаемой арматуре до и после проявления потерь

При натяжении арматуры на бетон учитывают:

в) первые потери - от деформации анкеров, трения арматуры о стенки каналов или о поверхность бетона конструкций;

г) вторые потери - от релаксации напряжений в арматуре, усадки и ползучести бетона, смятия бетона под витками арматуры, деформации стыков между блоками (для конструкций, состоящих из блоков).

Потери предварительного напряжения арматур должны определяться по табл. 1, при этом суммарную величину потерь при проектировании конструкций следует принимать не менее 150 МПа.

1.6. При определении потерь предварительного напряжения от усадки и ползучести бетона по позициям 8 и 9 табл. 1 должны учитываться следующие указания:

а) если заранее известен срок загрузки конструкций, потери от усадки и ползучести бетона умножаются на коэффициент  $\beta$ , определяемый по формуле

$$\beta = 1 - e^{-0,02 \Delta t}, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  - время в сутках, отчисляемое при определении потерь от ползучести - со дня обхатия бетона, от усадки - со дня окончания бетонирования;

б) для конструкций, предназначенных для эксплуатации при различном температурно-влажностном режиме окружающей среды, потери от ползучести бетона определяются с учетом коэффициента  $K_{вж}$ , принимаемого по табл. 2, а также данных приложения 2;

в) допускается использовать более точные методы определения

величин потерь от усадки и ползучести бетона, обоснованные в установленном порядке, если известны все необходимые данные.

Таблица 1. Потери предварительного напряжения

Факторы, вызывающие потери предварительного напряжения арматуры	: Величина потерь, МПа, : : при натяжении арматуры	
	: на упоры : :	: на бетон
1	2	3
А. Первые потери		
1. Релаксация напряжений арматуры $\sigma_1$ : при механическом способе натяжения :	:	:
а) стержневая арматура : $0,1\sigma_{нк} - 20$ :	:	-
б) проволочная арматура : $(0,27\frac{\sigma_{нк}}{R_{aB}} - 0,1)\sigma_{нк}$ :	:	-
при электротермическом и электромеханическом способах натяжения:		
а) стержневая арматура : $0,03\sigma_{нк}$ :	:	-
б) проволочная арматура : $0,05\sigma_{нк}$ :	:	-
2. Температурный перепад (разность температур натянутой арматуры и устройства, воспринимающего усилие натяжения при пропаривании или прогреве бетона) $\sigma_2$ ; принимаются по поз.2 табл.4 главы СНиП [1]	: $1,25\Delta t$ ; : где $\Delta t$ - раз- : ность темпе- : ратур арма- : тур и упоров; : $\Delta t = 65^\circ C$ ; : при отсутствии : данных	-
3. Деформации анкеров, расположенных у натяжных устройств $\sigma_3$ ; принимаются по поз.3 табл.4 СНиП [1]:	: $\frac{\lambda}{l} E_a$ ;	: $\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{l} E_a$
4. Трение арматуры: $\sigma_4$	:	:
а) о стенки каналов или о поверхность бетона конструкций :	:	: $\sigma_{нк} (1 - \frac{1}{e^{kx + \mu \sigma}})$
б) об огибании приспособления; принимаются по поз.4 табл.4 СНиП [1]:	: $\sigma_{нк} (1 - \frac{1}{e^{\mu \sigma}})$ ;	-

Продолжение табл. 1

1	2	3
5. Деформации стальной формы при изготовлении предварительно-напряженных железобетонных конструкций $\epsilon_5$ ; принимается по поз.5 табл. 4 СНиП [1]	$k \frac{\Delta l}{l} E_a$	-

6. Быстротекучая ползучесть $\epsilon_6$	$85 \frac{\sigma_{6н}}{R_0}$ при $\frac{\sigma_{6н}}{R_0} \leq \alpha$ ;	
а) для бетонов естественного твердения	$150 \frac{\sigma_{6н}}{R_0} - 30$ при $\frac{\sigma_{6н}}{R_0} > \alpha$ ;	
	где $\alpha$ - коэффициент, принимаемый равным для бетонов проектной марки М500 и выше $\alpha = 0,6$ ;	
	М400 и ниже $\alpha = 0,5$ ;	
	$\sigma_{6н}$ определяется на уровне центров тяжести арматуры А и А' с учетом потерь по поз. 1-5 настоящей таблицы	
б) для бетона, подвергнутого тепловой обработке	Потери вычисляются по формулам поз. 6,а настоящей таблицы с умножением полученного результата на коэффициент, равный 0,95	

Б. Вторые потери

7. Релаксация напряжений арматуры $\epsilon_7$ :		
а) стержневой	-	$0,1 G_{нк} - 20$
б) проволоочной	-	$(0,27 \frac{G_{нк}}{R_{нл}} - 0,1) G_{нк}$
принимается по поз.7 табл. 4 СНиП [1]		

Продолжение табл. 1

1	2	3	
8. Усадка бетона (см. п.1.5 настоящих Рекомендаций) $\sigma_8$	Бетон естественного твердения	Бетон, подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении	Независимо от условий твердения бетона
а) М400 и ниже	60	50	45
б) М500	75	60	55
в) М600 и выше	90	75	60

Приведенные значения потерь от усадки тяжелого БСБ необходимо умножать на коэффициент  $K_{уд}$ , принимаемый по табл.2.

9. Ползучесть бетона  $\sigma_9$ 

(см. п.1.5 настоящих Рекомендаций)

где  $\sigma_9 = \frac{\sigma_{дн}}{\mu_n \rho} \cdot \xi - \sigma_8$ ;  $\sigma_3 = \frac{\sigma_{дн}}{\mu_n \rho} \cdot \xi$ ,  
 $\sigma_{дн}, \sigma_8$  - см. поз.6 настоящей таблицы;

$$\mu_n = \frac{F_n + F_n'}{F_0}; \quad \rho = 1 + \frac{y \cdot e_{он}}{r^2};$$

$$\xi = 1 - e^{-\frac{\pi \mu_n \rho}{1 + \pi \mu_n \rho} \psi_{т.}}; \quad \chi = 1 + 0,5 C_m E_0;$$

$y$  - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до волокна, где определяется  $\sigma_{дн}$ ;

$e_{он}$  - эксцентриситет усилия предварительного обжатия относительно центра тяжести приведенного сечения, если рассматриваемое волокно и усилие обжатия находятся по разные стороны от центра тяжести, то величина  $y$  подставляется со знаком минус; для центрально обжатых  $\rho = 1$ ;

1	2	3
	$\varphi_{тк}$ - предельное значение характеристики ползучести, определяемое в соответствии с приложением 2 табл. 2.1.	характеристики ползучести, определяемое в соответствии с приложением 2 табл. 2.1.
	$\eta_H = \frac{E_H}{E_0}$	
10. Снятие бетона под витками спиральной или кольцевой арматуры (при диаметре конструкции до 3 м) $\sigma_{10}$	-	45
11. Деформация обжатия стыков между блоками (для конструкций, состоящих из блоков) $\sigma_H$		Принимается по поз.11, табл.4 главы СНиП [1] с учетом: $\lambda = 0,5$ мм и $\lambda = 0,75$ мм соответственно при стыковании с заполнением бетоном и насухо.

Таблица 2. Значения коэффициента  $K_{\text{щ}}$

Характеристика температурно-влажностного режима	Относительная влажность воздуха, %	Значения коэффициента $K_{\text{щ}}$ при делочном компоненте		
		кальцинированный соде, содо-поташная смесь и др.	метасиликаты натрия (мета), жидкое стекло и др.	прочие
Климатический подрайон IV А	менее 20	1,7	1,5	1,6
Очень сухой	менее 20	1,5	1,2	1,3
Сухой	20 - 49	1,3	1,1	1,2
Нормальный	50 - 60	1,2	1,0	1,1
Влажный	61 - 74	1,1	0,9	1,0
Мокрый	75 и более	1,0	0,8	0,9

1.7. Величины напряжений в бетоне и арматуре, а также усилие предварительного обжатия бетона, вводимые в расчет предварительно-напряженных конструкций, следует определять в соответствии с п.1.28, 1.29 главы СНиП [1], а величины потерь предварительного напряжения следует принимать по табл. 1 в соответствии с п.1.4 настоящих Рекомендаций.

Напряжения в бетоне  $\sigma_{\sigma}$  ( $\sigma_{\sigma H}$ ) в сечениях, нормальных к продольной оси элемента, определяются как для упругих материалов по приведенным геометрическим характеристикам сечений. При этом усилие предварительного обжатия рассматривается как внешняя сила.

1.8. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия  $\sigma_{\sigma H}$  не должны превышать величин, приведенных в табл. 3. Величины  $\sigma_{\sigma H}$  определяются на уровне крайнего слоного волокна бетона с учетом потерь предварительного напряжения по поз. 1-5 табл. 1 и при коэффициенте точности натяжения арматуры  $m_T = 1$ .

1.9. Для предварительно-напряженных конструкций, в которых предусматривается регулирование величины напряжений, следует учитывать рекомендации п.1.31 главы СНиП [1].

## 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### Бетон

2.1. Для бетонных и железобетонных конструкций, проектируемых в соответствии с требованиями настоящих Рекомендаций, должны предусматриваться бетоны плотной структуры, у которых пространство между зернами заполнителей ( крупного и мелкого ) заполнено затвердевшим цементным камнем при проценте пустот

Таблица 3. Наибольшее допустимое значение обжатия бетона  $\sigma_{bn}$  в долях от  $R_0$

Напряженное состояние сечения	Способ натяжения арматуры	Напряжения обжатия бетона $\sigma_{bn}$ в долях от передаточной прочности $R_0$ , не более			
		при расчетной зимней температуре наружного воздуха			
		Минус 40°C и выше		Ниже минус 40°C	
		центральный	внецентренном	центр.	внецентр.
1. Напряжение обжатия уменьшается при действии внешних нагрузок	На упоры	0,60	0,70*	0,50	0,60
	На бетон	0,50	0,60	0,40	0,50
2. Напряжение обжатия увеличивается при действии внешних нагрузок	На упоры	0,45	0,50	0,35	0,40
	На бетон	0,40	0,45	0,30	0,35

Примечания:

1. Значения  $\sigma_{bn}/R_0$  для бетона в водонасыщенном состоянии при расчетной температуре воздуха ниже минус 35°C следует принимать на 0,05 меньше указанных в настоящей таблице.

2. Расчетные зимние температуры наружного воздуха принимаются согласно указаниям п.1.3 СНиП [1].

\* Для элементов, изготовленных с постепенной передачей усилий обжатия, при наличии стальных опорных деталей и косвенной арматуры с объемным коэффициентом армирования  $\mu_{st} = 0,5\%$  на длине не менее длины зоны передачи напряжений и не менее  $2h$  допускается принимать значение  $\eta_{st} = 0,75$ .

в уплотненной бетонной смеси не выше 6 (СНиП прил. I, табл. I [1]),  
объемной массой не менее 2200 кг/м<sup>3</sup>.

2.2. Для несущих конструкций производственных сельскохозяйственных зданий должны применяться бетоны повышенной плотности. Цементно-затворительное отношение бетонов для указанных конструкций должно быть не ниже 2,5.

Плотность водного раствора щелочного компонента (затворителя) должна быть не менее 1,20 г/см<sup>3</sup>.

2.3. Для бетонных и железобетонных конструкций должны предусматриваться проектные марки тяжелого бетона по прочности на осевое сжатие, осевое растяжение, морозостойкости, водонепроницаемости в соответствии с требованиями п.п. 2.2, .. 2.10 главы СНиП [1]. Содержание щелочного компонента в бетонах не должно превышать 7,5 -8 % от веса цемента в пересчете на безводное вещество.

Проектные марки шлакощелочных бетонов приведены в табл. 4.

Для определения начального модуля упругости возраст бетона следует назначать 90-120 суток.

Для несущих железобетонных конструкций из шлакощелочного бетона не допускается применение мелкозернистого тяжелого бетона проектной марки ниже М 200.

Рекомендуется принимать проектную марку бетона: для железобетонных элементов - не ниже М 200; для железобетонных элементов, рассчитываемых на воздействие многократно повторяющейся нагрузки, - не ниже М300; для железобетонных сильно нагруженных сжатых стержневых элементов (например, для колонн), воспринимающих значительные крановые нагрузки, или для колонн нижних этажей многоэтажных зданий - не ниже М400.

2.4. Для предварительно-напряженных элементов проектная марка бетона, в котором расположена напрягаемая арматура, должна приниматься в зависимости от вида и класса напрягаемой арматуры, ее диаметра и наличия анкерных устройств, не ниже указанных в табл. 5.

Таблица 4 . Проектные марки тяжелого шлакоцеолочного бетона.

Проектные марки	Условные обозначения марок и характеристик бетона	Размерность характеристик	Значения марок
1. По прочности на осевое сжатие	$M, \bar{R}$	кгс/см <sup>2</sup>	100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800.
2. По прочности на осевое растяжение	$R, \bar{R}_p$	кгс/см <sup>2</sup>	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60
3. По морозостойкости	$M_{pз}$	циклов замораживания и оттаивания	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800.
4. По водонепроницаемости	$B$	давление, кгс/см <sup>2</sup>	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18

Таблица 5. Минимальные проектные марки бетона для предварительно-напряженных конструкций из шлакощелочного бетона

Вид и класс напрягаемой арматуры	Проектная марка бетона, не ниже	Передаточная прочность бетона $R_0$ , МПа, не ниже
1. Проволочная арматура		
а) класса В-П с анкерами	М 300	24
б) класса В <sub>р</sub> -II без анкеров при диаметре проволоки: до 5 мм включительно до 6 мм и более	М300 М 500	24 40
в) класса К-7	М 400	32
2. Стержневая арматура без анкеров диаметром:		
от 10 до 18 мм (включительно)		
классов:		
а) А-IV, А <sub>т</sub> -IV	М 300	24
б) А-V, А <sub>т</sub> -V, А <sub>тп</sub> -V	М 350	28
в) А <sub>т</sub> -VI	М 400	32
от 200 мм и более		
классов:		
г) А-IV, А <sub>т</sub> -IV	М 300	24
д) А-V, А <sub>т</sub> -V, А <sub>тп</sub> -V	М 400	24
е) А <sub>т</sub> -VI	М 500	40

Примечание. Фактическое значение  $R_0$ , сниженное по сравнению с проектным согласно требованиям статистического контроля на производстве, должна составлять не менее 20 МПа, а при стержневой арматуре класса К-7 и проволочной арматуре без высакенных головок - не менее 24 МПа.

Передаточная прочность бетона  $R_0$  назначается не ниже 80% от проектной марки, указанной в табл.5. Если проектная марка бетона принята выше указанного в табл.5 минимального значения, то передаточная прочность соответственно может быть понижена.

При проектировании отдельных видов конструкций допускается установленное в обоснованном порядке снижение минимальной проектной марки бетона на одну ступень ( $50 \text{ кгс/см}^2$ ) против приведенной в табл.5 с соответствующим снижением передаточной прочности бетона, за исключением конструкций, рассчитываемых на воздействие многократно повторяющейся нагрузки.

Для стенок монолитных круглых резервуаров и труб при напряжении только спиральной (или кольцевой) арматуры допускается применение проектной марки бетона М200 и передаточной прочности  $R_0 = 15 \text{ МПа}$ .

Проектная марка мелкозернистого бетона, применяемого для защиты от коррозии и обеспечения сцепления с бетоном напрягаемой арматуры, расположенной в пазах и на поверхности конструкций, должна быть не ниже М200, а для инъекции каналов – не ниже проектной марки бетона проектируемой конструкции.

Для замоноличивания стыков элементов сборных железобетонных конструкций проектную марку бетона следует устанавливать в зависимости от условий работы соединяемых элементов, но принимать не ниже М200.

Нормативные и расчетные характеристики бетона

2.5. Нормативными сопротивлениями бетона являются:

сопротивление осевому сжатию кубов (кубиковая прочность),  $R^N$ ;  
сопротивление осевому сжатию призм (призменная прочность),  $R_{пр}^N$ ;  
сопротивление осевому растяжению,  $R_p^N$ .

Нормативная кубиковая прочность бетона принимается равной

$$R^H = \bar{R} (1 - 1,64 V), \quad (2)$$

где  $\bar{R}$  - сопротивление осевому сжатию базового образца-куба, определяемое по ГОСТ 10180-78 [42];

$V$  - коэффициент вариации прочности бетона, принимаемый равным 0,16.

Нормативная призмная прочность бетона принимается не менее 0,72  $R^H$ :

$$R_{np}^H \geq 0,72 R^H. \quad (3)$$

Нормативное сопротивление бетона осевому растяжению  $R_p^H$  в случаях, когда прочность бетона на растяжение не контролируется, принимается в зависимости от проектной марки бетона по прочности на сжатие.

При контроле проектной марки по прочности на осевое растяжение нормативное сопротивление бетона осевому растяжению принимается равным:

$$R_p^H = \bar{R}_p (1 - 1,64 V_p), \quad (4)$$

где  $V_p$  - коэффициент вариации, равный  $V_p = 0,135$ .

2.6. Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний и первой и второй групп определяются по формулам:

$$R_{nc} = \frac{R_{np}^H}{K_{bc}}; \quad R_p = \frac{R_p^H}{K_{sp}}; \quad (5)$$

$K_{bc}$  и  $K_{sp}$  - коэффициенты безопасности по бетону соответственно при сжатии и растяжении, принимаемые равными: для первой группы предельных состояний при сжатии

$$K_{bc} = 1,4;$$

при растяжении  $K_{sp} = 1,5$ ; для второй группы

$$K_{bc} = K_{bp} = 1.$$

Величины нормативных и расчетных сопротивлений бетона (с округлением) в зависимости от их проектных марок по прочности на сжатие и осевое растяжение приведены в табл. 6.

Расчетные сопротивления для предельных состояний первой группы  $R_{пр}$  и  $R_p$  снижаются (или повышаются) путем умножения на коэффициенты условий работы бетона  $m_{bc}$ . Значения коэффициентов условий работы  $m_{bc}$  следует принимать по поз. 2.13 и табл. 15 .... 17 главы СНиП [1]. Причем коэффициент  $m_{bc}$  по поз. 1, а в остальных случаях принимается равным 0,8.

Для мелкозернистого бетона нормативные и расчетные сопротивления принимаются по табл. 6.

2.7. Величина начального модуля упругости бетона  $E_b$  при сжатии и растяжении принимаются по табл. 7.

Для не защищенных от солнечной радиации конструкций, предназначенных для работы в климатическом подрайоне IV А согласно главе СНиП II-A.5.72 по строительной климатологии и геофизике, значения, указанные в табл. 7, следует умножать на коэффициент 0,85.

При наличии данных о составе бетона и условиях изготовления конструкций допускается принимать другие величины  $E_b$ , определяемые по ГОСТ 24452-80, согласованные в установленном порядке.

2.8. Коэффициент линейного температурного деформирования  $\alpha_{bt}$  при изменении температуры от 223°K до 323°K (от минус 70°С до плюс 50°С) принимается равным  $1,10^{-5}$  град<sup>-1</sup>.

При наличии данных о химическом и минералогическом составе шлака, заполнителей, щелочного компонента, их видов, расходов, степени водонасыщения бетона, морозостойкости и т.д. допускается принимать другие значения  $\alpha_{bt}$ , обоснованные в установленном порядке. Для расчетной температуры ниже и выше указанного преде-

Таблица 6. Расчетные сопротивления тяжелого шлакощелочного бетона в зависимости от проектной марки бетона по прочности на сжатие.

Вид сопротивления	Условные обозначения	Расчетные сопротивления бетона в зависимости от проектной марки по прочности на сжатие, МПа							
		100	200	300	400	500	600	700	800
Для первой группы предельных состояний									
Сжатие осевое (призмное)	$R_{np}$	3,8	7,6	11,5	15,0	19	23	26,5	30
Растяжение осевое	$R_p$	0,45	0,75	0,95	1,2	1,3	1,45	1,55	1,65
Критическое значение коэффициента интенсивности напряжений	$K_{\sigma c}$ МПа·м <sup>0,5</sup>	0,29	0,45	0,6	0,72	0,81	0,87	0,93	0,99
Сцепление бетона с арматурной сталью гладкого профиля	$R_{сц}$ МПа	1,3	2,4	3,0	3,7	4,0	4,3	4,6	4,8
Для второй группы предельных состояний									
Сжатие осевое (призменная прочность)	$R_{npII}$	5,4	11,0	16	21,0	26,5	32	37,0	42,5
Растяжение осевое	$R_{pII}$	0,7	1,15	1,5	1,8	2,0	2,2	2,35	2,5
Коэффициент интенсивности напряжений	$K_{\sigma cII}$ МПа·м <sup>0,5</sup>	0,43	0,69	0,9	1,08	1,2	1,32	1,41	1,5
Сцепление бетона с арматурной сталью гладкого профиля	$R_{сцII}$ МПа	2,0	3,6	4,5	5,5	6,0	6,5	6,8	7,2

Примечание: Для арматуры периодического профиля величина сцепления бетона  $R_{сц}$ ,  $R_{сцII}$  с арматурной сталью, приведенная в табл. 6, умножается на коэффициент 1,5.

Таблица 7. Начальные значения модуля упругости шлакощелочных бетонов при сжатии и растяжении.

Проектная марка бетона по прочности на сжатие (на растяжение)	Значения начального модуля упругости бетона $E_s \cdot 10^{-3}$ при заполнителе, МПа					
	крупном и мелком с содержанием пылеватых и глинистых частиц до 10%			мелком с содержанием пылеватых и глинистых частиц до 10%		
	естественного твердения	подвергнутый тепловой обработке при атм. давл.	подвергнутый тепловой обработке при повышенном давлении	естеств. твердения	подвергнутый тепловой обработке при атм. давл.	подвергнутый тепловой обработке при повышенном давл.
100(10)	11	12,4	12	8	7	6
150	14,7	16,3	14	10,9	9,6	8
200(15)	18,2	20,2	16,5	12,5	11,5	9,5
250	19,7	21,9	18,5	14,5	13,5	11,5
300(20)	21,2	23,6	19,5	17,5	15,5	13
350	22,8	25,3	22	18,5	17	14,5
400(25)	24	26,8	23,5	20,5	19	16
500	26,6	29,6	25	23,5	21,5	18
600(30)	28,6	31,8	26	26,5	24	20
700(35)	30,4	33,8	27,5	28,5	26	22
800(40)	31,8	35,3	28,5	30	27,5	23

Примечания: 1. При содержании пылевидных и глинистых частиц в заполнителях более 10% значения модуля упругости следует определять опытным путем по ГОСТ 24452-80.

2. Для не защищенных от солнечной радиации конструкции для подрайона IYA значения, указанные в таблицах 3, 4, следует умножать на коэффициент 0,85.

ла величина принимается по экспериментальным данным.

2.9. Коэффициент упругой поперечной деформации бетона ( коэффициент Пуассона) принимается равным  $\mu = 0,2$ , а полной, поперечной деформации следует определять в зависимости от уровня действующих напряжений

$$\mu' = 0,15 + 0,3 \eta^2 \quad (6)$$

где:  $\eta = \sigma_s / R_{np}$  - уровень действующих напряжений.

Упругий модуль сдвига и модуль сдвига полной поперечной деформации определяется по формулам при  $\eta \leq \eta_r = 0,8$

$$G_s = \frac{E_s}{2(1 + \mu)} \approx 0,415 E_s; \quad G'_s = \frac{E_s \sqrt{1 - \eta^2}}{2,3 + 0,6 \eta^2} \quad (7)$$

2.10. Предельные деформации тяжелых шлакощелочных бетонов при сжатии и растяжении для расчета железобетонных конструкций и или их частей из условия предельной сжимаемости (растяжимости) бетона следует принимать по приложению 2, табл. 2,5.

2.11. В основу расчета положена диаграмма  $\sigma - \epsilon$  с нисходящей ветвью (рис. 2).

Коэффициент полноты эпюра в сжатой зоне железобетонных элементов определяется по формуле

$$\omega = \frac{2 - \nu}{2}; \quad \omega = \omega_{11} + \omega_{12} = \frac{1}{2} + \frac{1 - \nu}{2}; \quad (8)$$

где  $\nu$  - коэффициент упругости бетона, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{\sigma_s}{R}; \quad \eta = \frac{N}{N_P}; \quad \eta = \frac{M}{M_P} \quad (9)$$

где:  $\eta = 1$ ,  $\nu = 0$ ,  $\omega = 1$ , т.е. при расчете на прочность;

$\sigma_s$ ,  $N$ ,  $M$  - действующие напряжения и усилия;

$\nu_0$  - начальный коэффициент упругости, принимаемый по табл. 2.1 прил. 2;

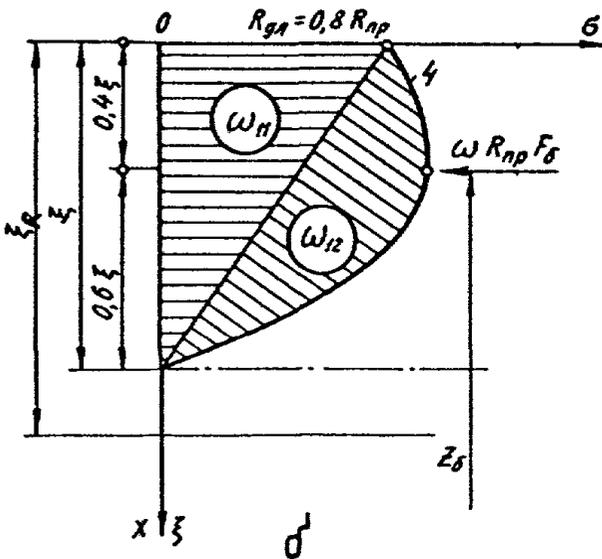
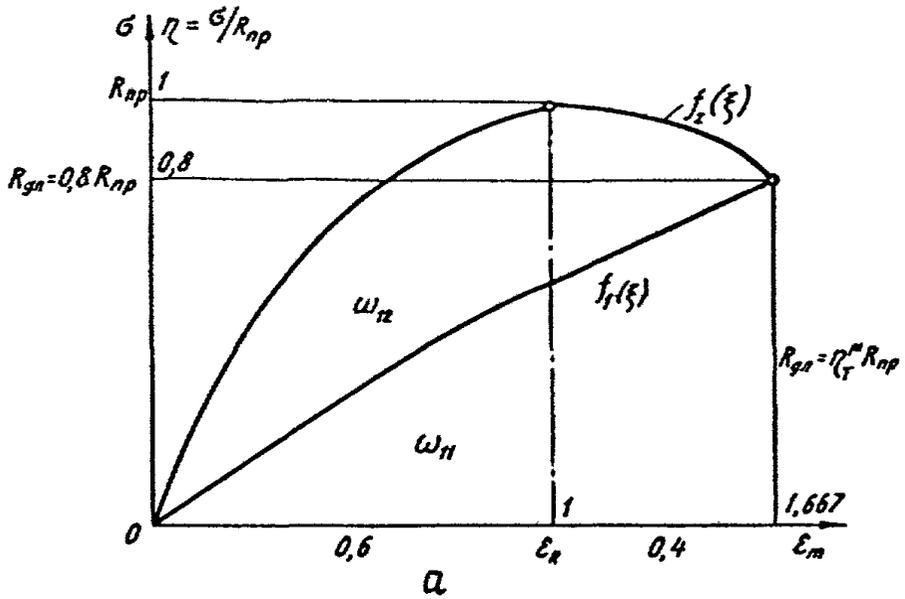


Рис. 2. Зависимость  $\sigma - \epsilon$  для бетона:

а - общий вид диаграммы  $\sigma - \epsilon$  для бетона с  
нисходящей ветвью ;

б - то же для сжатых зон элементов конструкций

$R$ ,  $N_p$ ,  $M_p$  - расчетные сопротивления бетона, разрушающие усилия.

Функция нелинейности бетона определяется по формуле с учетом (8)

$$f_{нд} = \frac{w}{w_H} = 1 + \frac{w_{12}}{w_H} (2 - \gamma) . \quad (10)$$

### Арматура

2.12. Для армирования железобетонных конструкций, а также для закладных деталей должна применяться арматура и сталь согласно указаниям п.п 2,18 - 2,25 главы СНиП [1] .

Нормативные и расчетные характеристики арматуры следует назначать согласно указаниям п.п. 2.26 - 2.31 главы СНиП [1] с учетом дополнительных указаний настоящих Рекомендаций.

2.13. Расчетные сопротивления арматуры сжатия используемые для расчета конструкций по предельным состояниям первой группы  $R_{ac}$  при наличии сцепления арматуры с бетоном принимаются равными соответствующим расчетным сопротивлениям арматуры растяжению  $R_a$  для арматурной стали классов А-III, А-II, А-I, В-I, В<sub>p</sub>-I, а для более высоких классов определяются из условия предельной сжимаемости.

$$R_{ac} = \epsilon_{ms} E_a \leq R_a , \quad (11)$$

где  $\epsilon_{ms}$  - предельные деформации при сжатии бетона, принимаемые по приложению 2, табл. 2.5.

При отсутствии сцепления арматуры с бетоном значения  $R_{ac}$  принимаются равными нулю.

2.14. Расчетные и нормативные сопротивления и модуль упругости арматуры растяжению и сжатию для основных видов стержневой и продольной арматуры при расчете конструкций по предельным состояниям первой и второй групп приведены в табл. 8.

Таблица 8 . Расчетные и нормативные сопротивления и модуль упругости арматуры

Вид арматуры	Диаметр, метр, мм	Расчетные сопротивления арматуры для первой группы предельных состояний, МПа			Расчетные и нормативные $R_n^H$ сопротивления для второй группы предельных состояний, МПа	Начальный модуль упругости арматуры $E_a \cdot 10^{-5}$ , МПа
		растянутой продольной; поперечной (хомуты и отогнутой арматуры) при расчете наклонных сечений сетчатого и поперечной силы $R_a$	сжатой $R_{сж}$	сжатой $R_{сж}$		
		1	2	3	4	5
1. Сталь горячекатанная (гладкая) класса А-I	: 6-40	: 210	: 170	: 210	: 240	: 2,1
2. Сталь горячекатанная периодического профиля класса А-II	: 10-90	: 270	: 215	: 270	: 300	: 2,1
3. То же, класса А-III	: 6-40	: 340	: 270	: 340	: 400	: 2,0
А-III <sub>B</sub>	: 6-40	: 450	: 360	: 340	: 550	: 1,8
А-IV	: 10-32	: 500	: 400	: $\leq R_a$	: 600	: 2,0
А-V	: 10-32	: 640	: 510	: $\leq R_a$	: 800	: 1,9
4. Сталь термически упрочненная периодического профиля класса А <sub>T</sub> -IV	: 10-25	: 500	: 400	: $\leq R_a$	: 600	: 1,9
А <sub>T</sub> -V	: 10-25	: 640	: 510	: $\leq R_a$	: 800	: 1,9
А <sub>T</sub> -VI	: 10-25	: 800	: 640	:	: 1000	: 1,9

Продолжение табл. 8

1	2	3	4	5	6	7
Проволоочная арматура						
5. Обыкновенная:	:	:	:	:	:	:
арматурная про-	:	:	:	:	:	:
волока гладкая:	:	:	:	:	:	:
класса В-I	:3-5,5:	315	: 220	: 315	: 550	: 2,0
6. То же, пе-	:	:	:	:	:	:
риодического	:	:	: 260	:	:	:
профиля, класса:	3-4	: 350	: (280)	: 350	: 550	: 2,0
V <sub>p</sub> -I	: 5	: 340	: (260 (270))	: 340	: 525	: 1,7
7. Арматурная	: 3	: 1230	: 980	:	: 1900	:
проволока вы-	: 4	: 1160	: 930	: $\epsilon_{ms} E_a \leq$	: 1800	:
сокопрочная	:	:	:	:	:	:
гладкая класса:	5	: 1100	: 880	: $\leq R_a$	: 1700	:
V-II	: 6	: 1030	: 830	:	: 1600	: 2,0
	: 7	: 970	: 770	:	: 1500	:
	: 8	: 900	: 720	:	: 1400	:
8. То же, пе-	: 3	: 1160	: 930	:	: 1800	:
риодического	: 4	: 1100	: 880	: $\epsilon_{ms} E_a \leq$	: 1700	:
профиля класса:	5	: 1030	: 830	: $\leq R_a$	: 1600	: 2,0
V <sub>p</sub> -II	: 6	: 970	: 770	:	: 1500	:
	: 7	: 900	: 720	:	: 1400	:
	: 8	: 840	: 670	:	: 1300	:
9. Семипроволо-	: 4,5	: 1230	: 980	: $\epsilon_{ms} E_a \leq$	: 1900	:
чане арматурные	6,0	: 1190	: 950	:	: 1855	:
пряди (кваты)	7,5	: 1160	: 930	: $\leq R_a$	: 1800	:
класса К-7	: 9	: 1130	: 900	:	: 1750	: 1,8
	: 12	: 1100	: 880	:	: 1700	:
	: 15	: 1060	: 850	:	: 1650	:

Примечание: Величины  $R_{ax}$  в скобках даны для случая применения проволочной арматуры классов В-I и В<sub>p</sub>-I в вязанных каркасах

В сварных каркасах для хомутов из арматуры класса А-III, диаметр которых меньше 1/3 диаметра продольных стержней, значения  $R_{ax}$  принимается равной 240 МПа.

2.15. Рекомендуемые классы арматурной стали для обычных железобетонных элементов ( без предварительного напряжения) из ШЦБ проектных марок следует назначать по прил. 2 табл. 2.6.

2.16. Нелинейность деформирования арматурной стали (рис.3) учитывается функцией  $f_{на}$  и коэффициентом упругости  $\nu_{\alpha}$ , равными

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{на} = \frac{1}{\nu_{\alpha}} = 1 + \eta_{\alpha} \left( \frac{\sigma_{\alpha}}{R_{\alpha}} \right)^{K_{\alpha}} ; \\ \nu_{\alpha} = \frac{1}{1 + \eta_{\alpha} (\sigma_{\alpha}/R_{\alpha})^{K_{\alpha}}} ; \\ \eta_{\alpha} = \frac{29000K}{R_{\alpha}} - 24,4 ; \\ K_{\alpha} = 6,87 + \frac{216,4}{(R_{\alpha}/R_{ax})^4} , \end{array} \right. \quad (12)$$

применяя в расчетах модуль деформаций арматуры  $E_{\alpha}' = \nu_{\alpha} E_{\alpha}$  ;

$E_{\alpha}$  - модуль упругости арматуры.

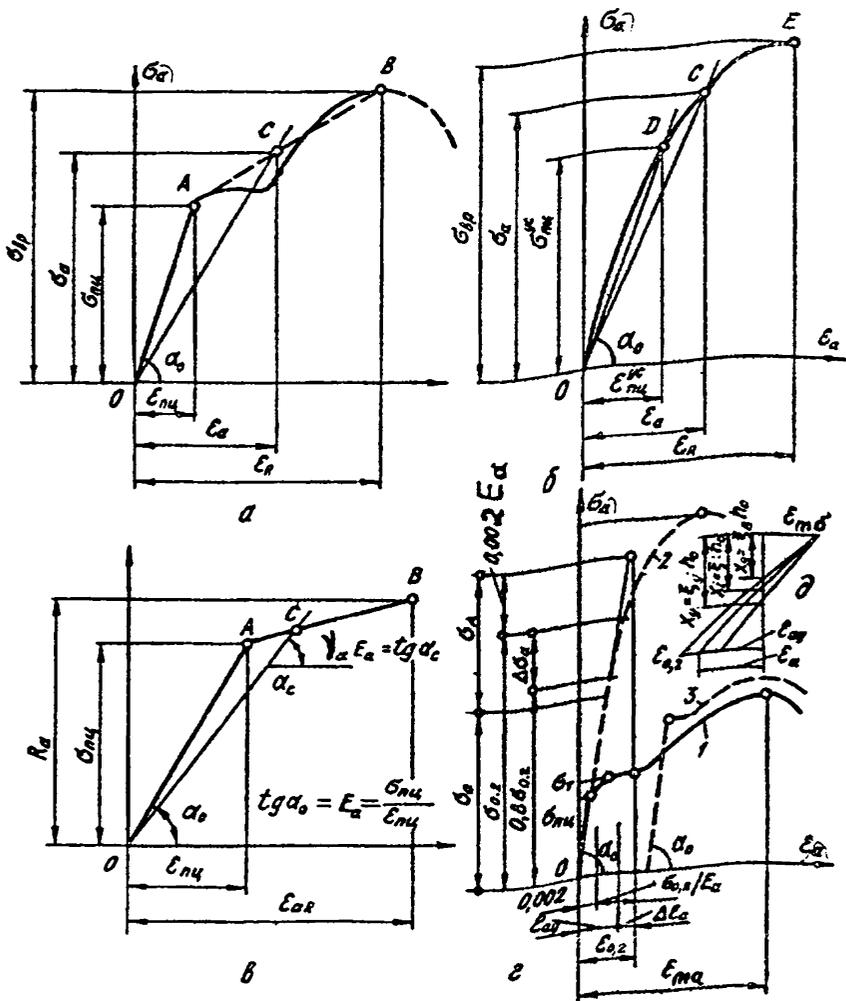


Рис. 3. Диаграмма  $\sigma - \epsilon$  арматурных сталей:

- а, б - диаграммы соответственно для "мягкой" и "твердой" сталей ;
- в - аппроксимация диаграммы арматурной стали ;
- г - схема работы арматурной стали в предварительно-напряженном и обычном элементах;
- д - эпюра деформаций ;
- 1,2,3 - диаграммы работы арматурной стали в обычном, предварительно-напряженном элементах и упрочненной стали

### 3. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ПЕРВОЙ ГРУППЫ

Расчет бетонных элементов по прочности.

3.1. Расчет по прочности элементов бетонных конструкций из шлакощелочных бетонов должен производиться в соответствии с указаниями п.п. 3.1, ..., 3.8 главы СНиП [1], принимая:

расчетные характеристики бетона согласно п.2 настоящих Рекомендаций с учетом коэффициента  $M_{05} = 0,9$  (табл. 15 главы СНиП [1]);

в формуле (25) главы СНиП [1] при определении условной критической силы  $N_{кр}$  вместо коэффициента 6,4 коэффициент 5,5;

коэффициент  $\beta$  в формуле (26) главы СНиП [1] не менее 1,3 (см. прил.2).

Предельные условия определяются, исходя из следующих предположений (рис.4):

в основу положена полная двучленная зависимость  $\sigma - \epsilon$  (рис.2а); сечения после деформаций остаются плоскими;

наибольшее относительное удлинение крайнего растянутого волокна шлакощелочного бетона равно  $R_p / \gamma_p E_s$ , где  $\gamma_p$  - коэффициент упругости бетона, определяемый по формуле (9) при уровне напряжений  $\eta \leq \eta_r^k$ ;  $\eta_r^k$  - уровень напряжений, соответствующий верхнему пределу микротрещинообразования;

напряжения в бетоне сжатой зоны определяются с учетом неупругих деформаций, функции нелинейности, равной  $f_N = 1,1$ ;

напряжения в бетоне растянутой зоны равны  $R_p$  (рис. 4,б).

Расчет изгибаемых бетонных элементов (рис. 4,б) должен производиться из условия

$$M \leq K R_p \gamma_q^2 b h^2, \quad (13)$$

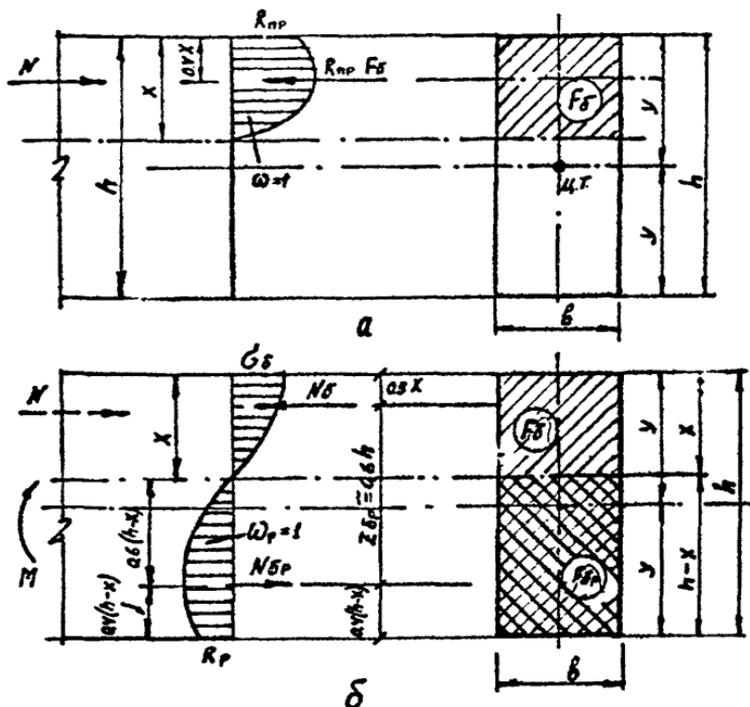


Рис. 4. Схемы усилий и эпюры напряжений при расчете бетонных элементов на прочность:

- а - для нормального к продольной оси внецентренного сжатого элемента, рассчитываемого без учета сопротивления бетона растянутой зоны;
- б - то же, для изгибаемого (внецентренно-сжатого) элемента, рассчитываемого с учетом сопротивления бетона растянутой зоны

где  $\nu_0 = 0,35$  — для прямоугольных сечений при  $x > 0,25h$  ;

$\nu_0 = 0,45$  — для прямоугольных и тавровых сечений при

$$h_n' < x \leq 0,25h ;$$

$\nu_0 = 0,5$  — для тавровых сечений при  $x \leq h_n'$  ;

$K$  — коэффициент, равный 0,9 для тяжелого и мелкозернистого бетонов.

Расчет железобетонных элементов по прочности

3.2. Расчет по прочности элементов железобетонных конструкций должен производиться как для нормальных, так и для наклонных сечений к их продольной оси; при наличии крутящих моментов следует проверить прочность пространственных сечений, ограниченных в растянутой зоне спиральной трещиной. Кроме того, должен производиться расчет элементов на местное действие нагрузки (смятие, продавливание, отрыв).

Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси элементов.

3.3. Определение предельных усилий в сечении, нормальном к продольной оси элементов, должно производиться исходя из следующих предпосылок:

Сопротивление бетона растяжению в растянутой зоне крайнего волокна в сечении с трещиной равно нулю; сопротивление бетона в растянутой зоне учитывается с помощью критического значения коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  ;

Сопротивление бетона сжатию наиболее напряженной грани сечения представляют напряжениями, равными  $\sigma_b = R_{bp}$ , а на расстоянии  $0,4X$  от этой грани располагается центр тяжести сжатой зоны с максимальными напряжениями  $\sigma_b < 1,25 R_{bp}$  (рис. 4), растягивающие напряжения в арматуре принимаются не более расчетного сопротивления растяжению  $R_a$  ;

Сжимающие напряжения в ненапрягаемой и напрягаемой арматуре принимаются не более расчетного сопротивления сжатию  $R_{ac}$  .

3.4. Расчет сечений, нормальных к продольной оси элемента, когда внешняя сила действует в плоскости оси симметрии сечения и арматура сосредоточена у перпендикулярных к указанной плоскости гра-

ней элемента, должен производиться в зависимости от соотношения между величиной относительной высоты сжатой зоны бетона  $\xi = \frac{x}{h_0}$  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  $R_a$ .

Величина  $\xi_R$  определяется по формуле

$$\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{R_{ac}} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1}\right)}, \quad (14)$$

где  $\xi_0$  - характеристика деформативных свойств бетона сжатой зоны, определяемая по формуле

$$\xi_0 = \alpha - 0,008 R_{np}; \quad (15)$$

$\alpha$  - коэффициент, который учитывает упруго-пластические свойства бетона и с повышением упругих свойств бетона уменьшается: коэффициент  $\alpha$  принимается равным постоянным для бетона крупнозернистого - 0,9; мелкозернистого - 0,85;

$R_{np}$ , МПа;

$\sigma_A$  - напряжение в арматуре в МПа, принимаемое равным для ненапрягаемой арматуры классов А-I, А-II, А-IIIв, А-IV, А-IV, А-V, А-IV, В-I и В-IV -  $R_a$ ; напрягаемой арматуры с условным пределом текучести классов А-IIIв, А-IV, А-IV, А-V, А-IV, А-IV, В-II, В-II -  $R_n + R_{ac} - \sigma_0$ ; с физическим пределом текучести классов А-III -  $R_a - \sigma_0$ .

где  $R_{ac} = \epsilon_{ms} E_n \leq R_n$ ,  $R_{ac} = \epsilon_{ms} E_a \leq R_a$ ;

$\epsilon_{ms}$  - по табл. 2.5. прил. 2.

$R_a, R_n$  - расчетное сопротивление соответственно напрягаемой и ненапрягаемой арматуры растяжению с учетом соответствующей

щих коэффициентов условий работы арматуры  $m_{a_i}$ , за исключением  $m_{a_1}$  (см. табл. 24 СНиП [1] );

$\sigma_0$  - определяется при коэффициенте  $m_T < 1$ .

При наличии напрягаемой и ненапрягаемой арматуры  $\sigma_A$  определяются по напрягаемой арматуре. При напрягаемой арматуре разных классов допускается принимать наибольшее значение  $\sigma_A$ .

Предельные значения коэффициента  $A_R$  определяются по формуле

$$A_R = \xi_R (1 - 0,4 \xi_R) = \xi_R \eta_R. \quad (16)$$

Для бетонов всех марок и некоторых классов арматурной стали значения  $\xi_0$  и  $\xi_R$  приведены в табл. 3.2.

В случае, если в расчете элементов учитывается коэффициент  $m_{R_i} = 0,8$  (см. поз.1 табл. 15 СНиП [1] ), то значения  $\xi_0$  и  $\xi_R$  приведенные в табл.3.2 следует умножать на коэффициент  $K_x$ , определяемый по формуле

$$K_x = 1 + 0,002 R_{op}. \quad (17)$$

3.5. При расчете по прочности железобетонных элементов с высокопрочной напрягаемой арматурой классов А-IV, А<sub>T</sub>-IV, А-V, А<sub>T</sub>-VI, В-II, К-7 при соблюдении условия  $\xi < \xi_R$  расчетное сопротивление арматуры  $R_n$  должно быть умножено на коэффициент условия работы  $m_{a_1}$  ( см. табл. 24 СНиП [1] ).

3.6. Напрягаемая арматура, расположенная в сжатой зоне при действии внешних сил имеющая сцепление с бетоном вводится в расчет с напряжением

$$\sigma'_c = \epsilon_{mb} E_n - \sigma'_0 \quad (18)$$

где  $\sigma'_0$  - предварительные напряжения в арматуре  $F_n'$ , определяемые при коэффициенте  $m_T$ , большем единицы;

$\epsilon_{mb}$  - предельная сжимаемость, принимаемая по табл. 2.5.

3.7. Расчет железобетонных элементов производится по условиям статики  $\sum M = 0$  и  $\sum Z = 0$  с учетом элементов механики разрушения

теории составных стержней, сдвигающих усилий  $T$  и  $S$  (рис.5).

3.8. Несущую способность железобетонных элементов обеспечивают усилия  $N_{\sigma}$ ,  $N_{\sigma p}$ ,  $N_a$ ,  $N_a'$  в бетоне и арматуре сжатой и растянутой зон.

Плечо внутренней пары  $N_a = -N_{\sigma}$  равно  $z_{\sigma} = h_0 \cdot 0,4X$ .

Расчетная схема, распределение напряжений и усилий в изгибаемых элементах в общем случае расчета на прочность показаны на рис.5.

3.9. Сдвигающие усилия по контакту растянутой арматуры и бетона определяются по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Суммарные:} \\ T(z) = \frac{(q+p)\alpha_1^2}{2z\delta} \left[ 1 - \left(\frac{z}{\alpha_1}\right)^2 - \frac{2}{\kappa^2\alpha_1^2} - \frac{2ch(\kappa z)}{\kappa\alpha_1 sh(\kappa\alpha_1)} \right]; \\ \text{на опоре:} \\ T_0 = \frac{(q+p)\alpha_1^2}{2z\delta} \left[ \frac{2ch(\kappa\alpha_1)}{\kappa\alpha_1 sh(\kappa\alpha_1)} - \frac{2}{\kappa^2\alpha_1^2} \right]; \\ \text{максимальное значение:} \\ T_{\max} = \frac{(q+p)\alpha_1^2}{2z\delta} \left[ 1 + \frac{2}{\alpha_1\kappa sh(\kappa\alpha_1)} - \frac{2}{\kappa^2\alpha_1^2} \right]; \\ \text{Погонные:} \\ S(z) = -\frac{(q+p)\alpha_1^2}{z\delta} \left[ \frac{z}{\alpha_1^2} + \frac{sh(\kappa z)}{\alpha_1 sh(\kappa\alpha_1)} \right]; \\ S_{\max} = -0,55 \frac{(q+p)\alpha_1}{z\delta}; \quad \alpha_1 = \frac{l}{2}. \end{array} \right. \quad (19)$$

3.10. Сдвигающие напряжения  $\tau(z)$  по контакту растянутой арматуры и бетона определяются по погонным сдвигающим усилиям с учетом параметра  $\rho a$  продольной арматуры

$$\tau(z) = \frac{S(z)}{\rho a(z)} = \frac{S(z)}{\pi d_c n_c}; \quad (20)$$

где  $d_c$ ,  $n_c$  - соответственно средние значения диаметра и количество стержней продольной арматуры.

Максимальные сдвигающие напряжения, определенные по формуле (20) не должны превышать расчетного сопротивления сцепления бетона  $R_{сц}$  с арматурной сталью, соответственно, при расчете по первой или второй группам предельных состояний (табл.6).



Сдвиг арматуры и бетона определяется по формуле

$$u_s(z) = \frac{S(z)}{E(z)}, \quad (21)$$

где  $E(z)$  - коэффициент жесткости поперечных связей сдвига, который определяется с учетом работы на сдвиг бетона, поперечной и отогнутой арматуры:

$$\left\{ \begin{aligned} E(z) &= \frac{1}{\Delta s(z) + \Delta x(z) + \Delta_0(z)} = \frac{1}{\sum_i \Delta_i(z)}; \\ \Delta s(z) &= \frac{\Delta s}{\sin \alpha} = \frac{2z\delta}{\sqrt{E_f b \sin^2 2\alpha}}; \\ \Delta x(z) &= \frac{\Delta x}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{4d_x u_x}{E_{ax} f_x n_x \operatorname{tg}^2 \alpha}; \\ \Delta_0(z) &= \frac{\Delta_0 \cos \alpha}{\cos(\beta - \alpha)} = \frac{4d_0 u_0 \cos^2 \alpha}{E_{a0} f_{a0} n_0 \cos^2(\beta - \alpha)}; \end{aligned} \right. \quad (22)$$

$\alpha$  - угол наклона оси бетонного блока, наклонной трещины, который меняется по длине элемента;

$\beta$  - угол наклона отогнутых стержней, наклонных хомутов;

$z\delta$  - плечо внутренней пары;

$d_x, f_x, n_x, u_x$  - диаметр, площадь, количество и шаг хомутов;

$d_0, f_0, n_0, u_0$  - то же, отогнутых стержней, наклонных хомутов;

$E_f' = \sqrt{E_f}$  - модуль деформаций бетона растянутой зоны;

$E_a, E_{ax}, E_{a0}$  - модуль упругости продольных, поперечных, отогнутых и наклонных стержней;

$b$  - ширина балки.

Изгибаемые элементы

3.11. Расчет прямоугольных сечений (рис.6) при  $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi^*$  должен производиться из условия

$$M \leq R_{np} b \delta x (h_0 - 0,4x) + R_{ac} F_a' (h_0 - a') \quad (23)$$

с учетом указаний п.п. 3.15 и 3.17 главы СНиП [1].

Сечение растянутой арматуры определяется из условия оптимального проектирования по формуле

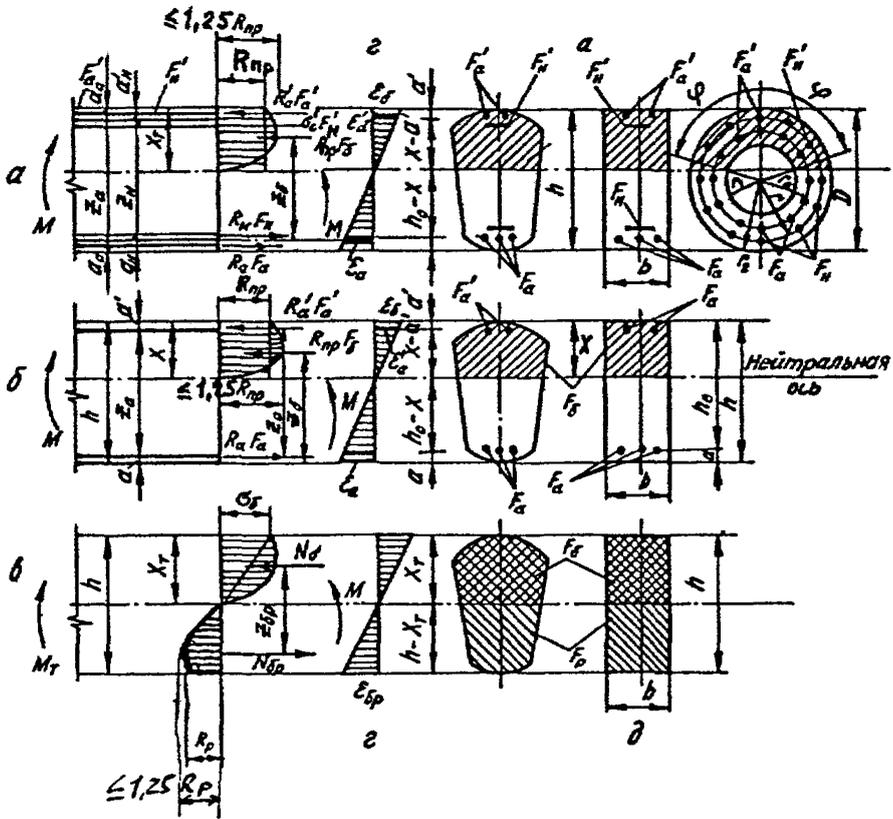


Рис. 6. Схемы расчетных усилий и напряжений в поперечных сечениях изгибаемых элементов  
 а, б - железобетонные элементы с предварительно-напряженной и обычной арматурой ;  
 в - то же, для бетонных элементов ;  
 г - эпюра деформаций ;  
 д - сечения

$$F_a = 1,25 b R_{np} \left[ \frac{h_0}{R_a} - \sqrt{\left( \frac{h_0}{R_a} \right)^2 - 1,6 \frac{M}{R_a^2 b R_{np} (100)}} \right]. \quad (24)$$

3.12. Расчет сечений, имеющих полку в сжатой зоне должен производиться в зависимости от положения границы сжатой зоны (рис. 7):

а) если нейтральная линия находится в пределах высоты полки  $\chi \leq h'_n$ , т.е. соблюдается условие

$$M \leq R_{np} b'_n h'_n (h_0 - 0,5 h'_n),$$

то расчет производится как для прямоугольного сечения шириной  $b'_n$  с одиночной арматурой;

б) при нейтральной оси в ребре

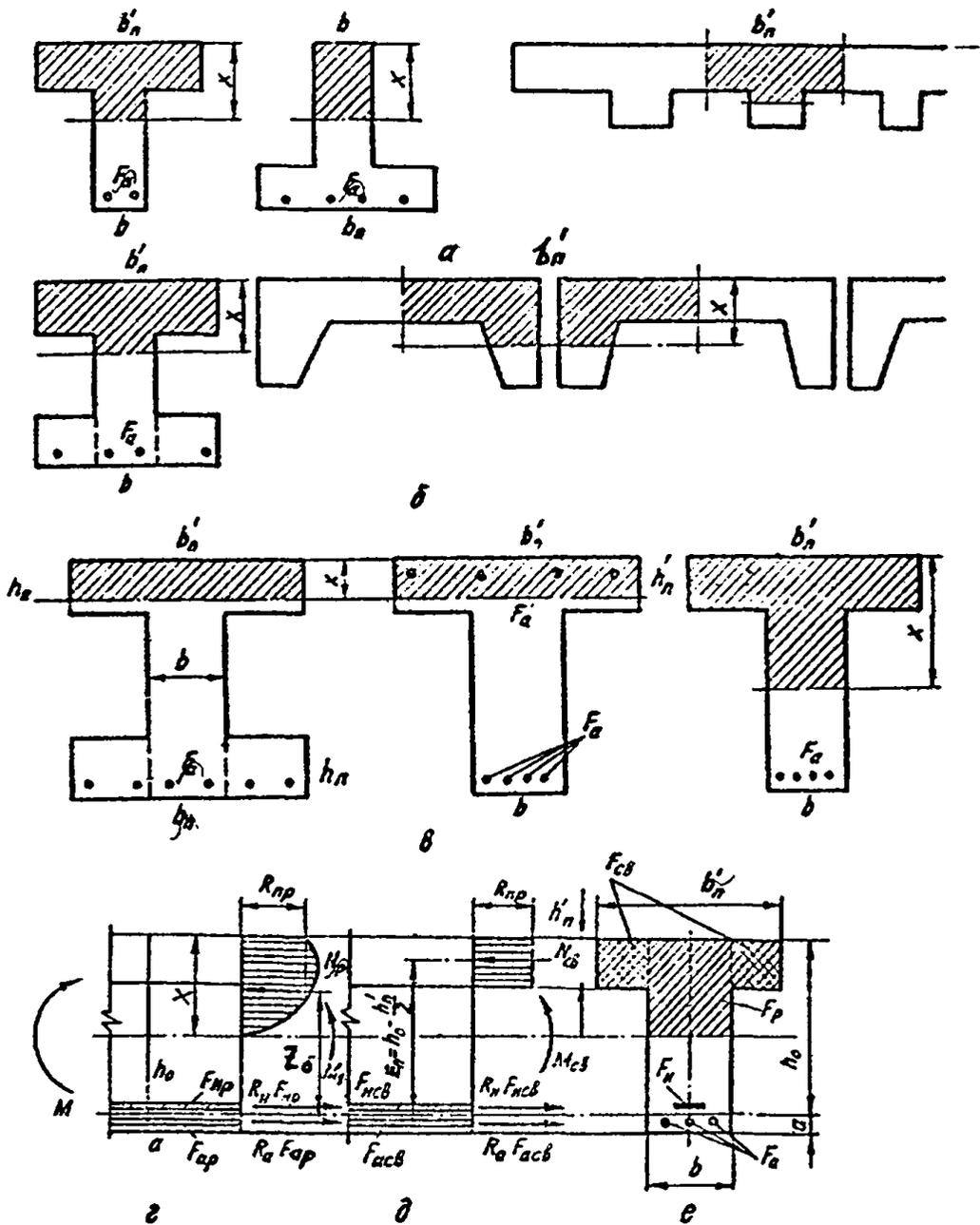


Рис. 7. Поперечные сечения, расчетные усилия и напряжения для тавровых сечений изгибаемых элементов:  
 а, б - виды тавровых и двутавровых сечений;  
 в - положение нейтральной оси;  
 г - суммарные усилия и напряжения в ребре;  
 д - то же, в свесах полок;  
 е - поперечное расчетное сечение

$$M > R_{np} \delta_n' h_n' (h_0 - 0,5 h_n')$$

расчет производится с помощью табличных коэффициентов  $A_0$ ,  $\xi$ ,  $\nu$  (прил. 3 табл. 3.1):

$$A_0 = \frac{M - R_{np}(\delta_n' - \delta) h_n' (h_0 - 0,5 h_n')}{R_{np} \delta h_0^2};$$

$A_0 = \xi (1 - 0,4 \xi) = \xi \nu$ ;  $\xi = x/h_0$ ;  $\nu = 1 - 0,4 \xi$ ;  
при  $A_0 < A_R = \xi_R (1 - 0,4 \xi_R)$  или  $\xi < \xi_R$   
для элементов с одиночной арматурой

$$F_a = \frac{M - R_{np} \delta_n' h_n' (h_0 \xi - 0,5 h_n')}{R_a h_0 \nu}; \quad (25)$$

при  $A_0 > A_R$ ,  $\xi > \xi_R$

$$\begin{cases} F_a = \xi_R \delta h_0 R_{np} / R_a; \\ F_a' = (\xi - \xi_R) \delta h_0 R_{np} / R_a. \end{cases}$$

3.13. При оптимальном проектировании железобетонных конструкций следует пользоваться оптимальными значениями  $\xi$  и  $A_0$ . Эффективное соотношение бетона и арматурной стали получается при  $\xi_{opt} = 0,3 - 0,4$  для балок и  $0,1 - 0,25$  для плит. Соответствующее значение  $A_0$  определяется по формуле (16) или принимается по табл. 3.1 прил. 3. Максимальные значения процента армирования определяются по формуле

$$R_{\max.} = 100 \mu_{\max.} = \frac{100 \omega \xi_0 R_{np}}{R_a \left[ 1 + \frac{\sigma_A}{R_{sc}} \left( 1 - \frac{\xi_0}{1,1} \right) \right]}. \quad (26)$$

Размеры поперечных сечений элементов следует определять и проверять из условий:

$$\begin{cases} M \leq A_0 \omega \delta h_0^2 R_{np} m_1; \\ M \leq R_a F_a \nu h_0; \\ Q \leq 0,35 R_{np} \delta h_0. \end{cases} \quad (27)$$

3.14. Расчет изгибаемых элементов кольцевого сечения производится в соответствии с п.3.18 главы СНиП [1] и п.3.16 настоящих Рекомендаций.

Внецентренно-сжатые элементы.

3.15. При расчете прочности внецентренно-сжатых железобетонных элементов должен учитываться начальный эксцентриситет  $C_0$  с.л., который принимается по рекомендациям п. 1.22. главы СНиП [1].

Влияние прогиба элемента учитывается при расчете конструкций по деформированной схеме, учитывая неупругие деформации материалов и наличие трещин. Допускается рассчитывать конструкции по недеформируемой схеме, учитывая влияние прогибов по приближенной методике с помощью множителя  $\eta$  к эксцентриситету  $C_0$  (рис.8):

$$C_0 \text{ расч.} = C_0 + f_m = C_0 \left( 1 + \frac{f_m}{C_0} \right) = C_0 \eta .$$

где  $\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{кр}}}$  ;  $\eta = 1 + \frac{f_m}{C_0}$  ; (28)

$f_m$  - прогиб, допускаемый по главе СНиП [1] ;

$N$  ;  $N_{кр}$  - усилия, соответственно действующие и критические.

Критическая сила определяется как для составных стержней

$$N_{кр.} = N_{кр.}^3 K_c ; N_{кр.}^3 = \frac{\pi^2 \nu E_s J_{\delta 0}}{l_0^2} ; K_c = \frac{1}{1 + \frac{N_{кр.}^3}{(Z_{\delta}^0)^2 \epsilon}} ;$$

(29)

где  $\epsilon$  - коэффициент жесткости, определяемый по формуле (22);

$Z_{\delta}^0 = h/2$  - для прямоугольных сечений;

$Z_{\delta}^0 = Y_{ан}$  - для любой формы сечения, т.е. расстояние от центра тяжести приведенного сечения до центра тяжести растянутой арматуры.

Критическую силу можно определить по формуле (58) главы СНиП [1], заменяя коэффициент 6,4 на 5,5 . При гибкости  $14 < l_0 / \lambda_w \leq 35$  ( $4 < l_0 / h \leq 10$ ) и при армировании 1,5 % допускается принимать

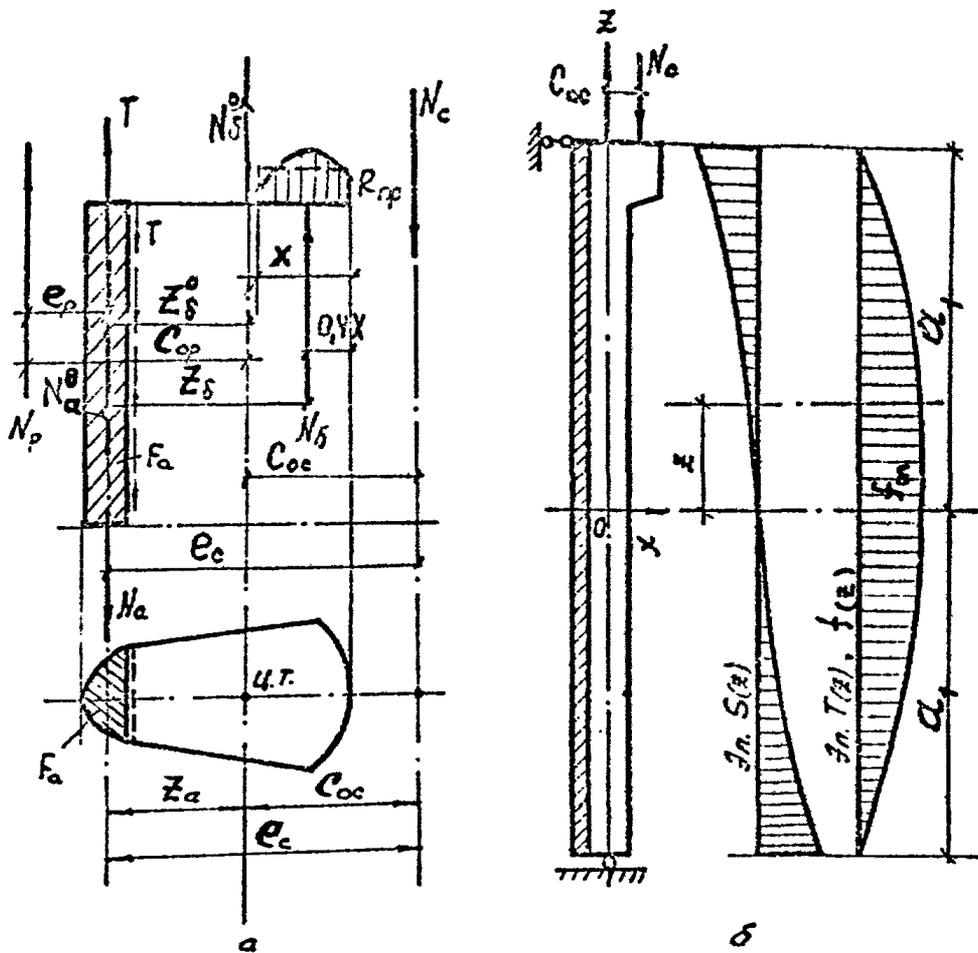


Рис. 8. Напряженное состояние внецентренно-сжатых и растянутых элементов как составных стержней:  
 а, б - схемы усилий и эпюры сдвигающих усилий

$$N_{кр} = \frac{K_{кр} \cdot E \delta F}{\rho \cdot z_0} \quad (30)$$

где  $K_{кр}$  - коэффициент, учитывающий вид армирования, форму сечения и др. факторы, который следует принимать равным: для обычных элементов 1,7, а для предварительно-напряженных - 2,15.

При  $N > N_{кр}$ , следует увеличивать размеры поперечного сечения элемента.

Сдвигающие усилия  $T$ ,  $S$  и сдвиг арматуры и бетона определяются по формулам (рис.8)

$$\left\{ \begin{array}{l} T(z) = - \frac{\Delta}{\gamma} \left( 1 - \frac{ch \kappa z}{ch \kappa a} \right); \\ S(z) = \frac{\Delta \kappa \cdot Sh(\kappa z)}{\gamma ch(\kappa a)} = \frac{\epsilon \cdot \Delta \cdot Sh(\kappa z)}{\kappa \cdot ch(\kappa a)}; \\ U(z) = \frac{S(z)}{\epsilon} = \frac{\Delta Sh(\kappa z)}{\gamma ch(\kappa a)}; \quad \alpha_1 = l_0/2, \end{array} \right. \quad (31)$$

где  $\epsilon$  - коэффициент жесткости связей, определяемый по формуле (22);

$\Delta$ ,  $\gamma$ ,  $\kappa$  - коэффициенты, характеризующие жесткость бетона, арматуры и связей между ними, определяемые по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma(z) = \frac{\psi_a}{\gamma_a E_a F_a(z)} + \frac{\psi_b}{\gamma_b E_b b h_0 \xi(z)} + \frac{z_0^2}{\Sigma E J}; \\ \Delta(z) = - \frac{M(z)}{z_b} \gamma(z); \quad \kappa(z) = \sqrt{\epsilon(z) \gamma(z)}. \end{array} \right. \quad (32)$$

Общая жесткость составного железобетонного стержня, лишенного

связей сдвига, равна

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma E_i J_i = \Sigma E J = \gamma_b E_b J_b + \gamma_a E_a J_a \\ \quad \cdot \gamma_b E_b (J_b + \gamma_a n_a J_a) \end{array} \right. \quad (33)$$

$J_b, J_a$  - моменты инерции стержней бетона и арматуры;

$J_{bn}$  - момент инерции приведенного полного сечения

$$J_{bn} = J_b + n_a (J_a + F_a y_a^2);$$

$M(z)$  - момент от внешней нагрузки.

### Прямоугольные сечения

3.16. Расчет прочности прямоугольных сечений производится в зависимости от высоты сжатой зоны (рис. 9, 10):

а) при  $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$  (случай 1, большие эксцентриситеты) расчет производится как изгибаемых элементов, подставляя  $M = N \cdot C_0$ ; при этом высота сжатой зоны определяется из формулы

$$\begin{cases} N + R_a F_a - R_{ac} F_a' = R_{np} b x, \\ C_0(z) = C_0 + f(z); \quad e(z) = C_0 + f(z) \mp \frac{h}{2} - a; \\ f(z) = f_m \cos \frac{\pi z}{2a}; \end{cases} \quad (34)$$

несущая способность для элементов с одиночной арматурой проверяется из условий  $\Sigma M = 0$ ,  $\Sigma Z = 0$

$$\begin{cases} Ne \leq \omega R_{np} b x (h_0 - 0,4x); \\ N \leq \omega R_{np} b x - R_a F_a; \end{cases} \quad (35)$$

в этом случае сжатая арматура  $F_a'$  не требуется по расчету, она ставится по конструктивным соображениям;

сечение растянутой арматуры определяется при  $\xi = \xi_R$  из условия  $\Sigma Z = 0$ .

$$F_a = \frac{\omega b h_0 \xi_R N - N}{R_a}; \quad (36)$$

б) при  $\xi > \xi_R$  (случай 2, малые эксцентриситеты):

высота сжатой зоны определяется из формулы (34), а сечение арматуры по формулам;

$$\begin{cases} F_a' = \frac{Ne - A_R \omega R_{np} b h_0^2}{R_{ac} (h_0 - a')}; \\ F_a = \frac{\omega b h_0 \xi_R R_{np} + R_{ac} F_a' - N}{\sigma_a}; \end{cases} \quad (37)$$

напряжения в арматуре определяем при внецентренном сжатии по формуле

$$\sigma_a = \frac{N n_a}{\gamma b h_0} \left( 1 - \frac{C_0 y_a}{z_u^2} \right), \quad (38)$$

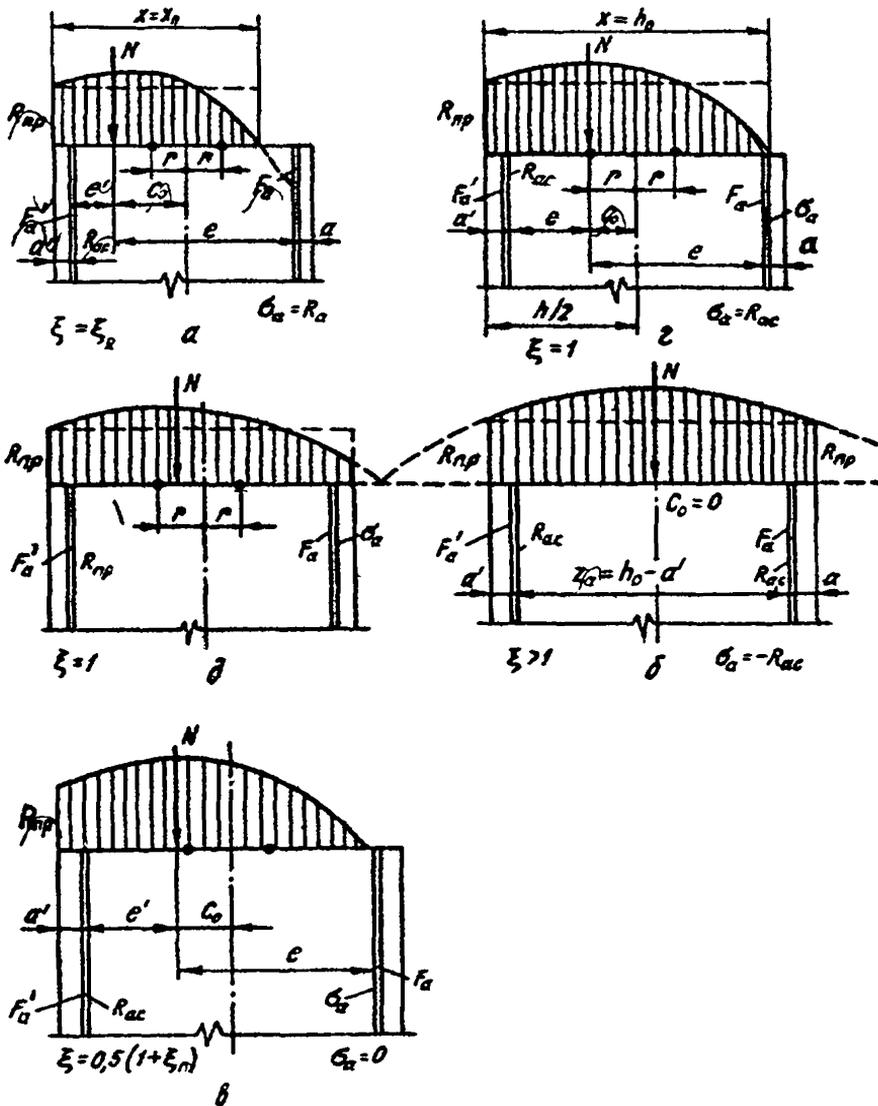


Рис. 9. Напряженно-деформированное состояние скатых элементов в зависимости от величины эксцентриситета, высоты скатой зоны:  
 а-д - схемы усилий, вид эпюры скатой зоны и геометрические размеры

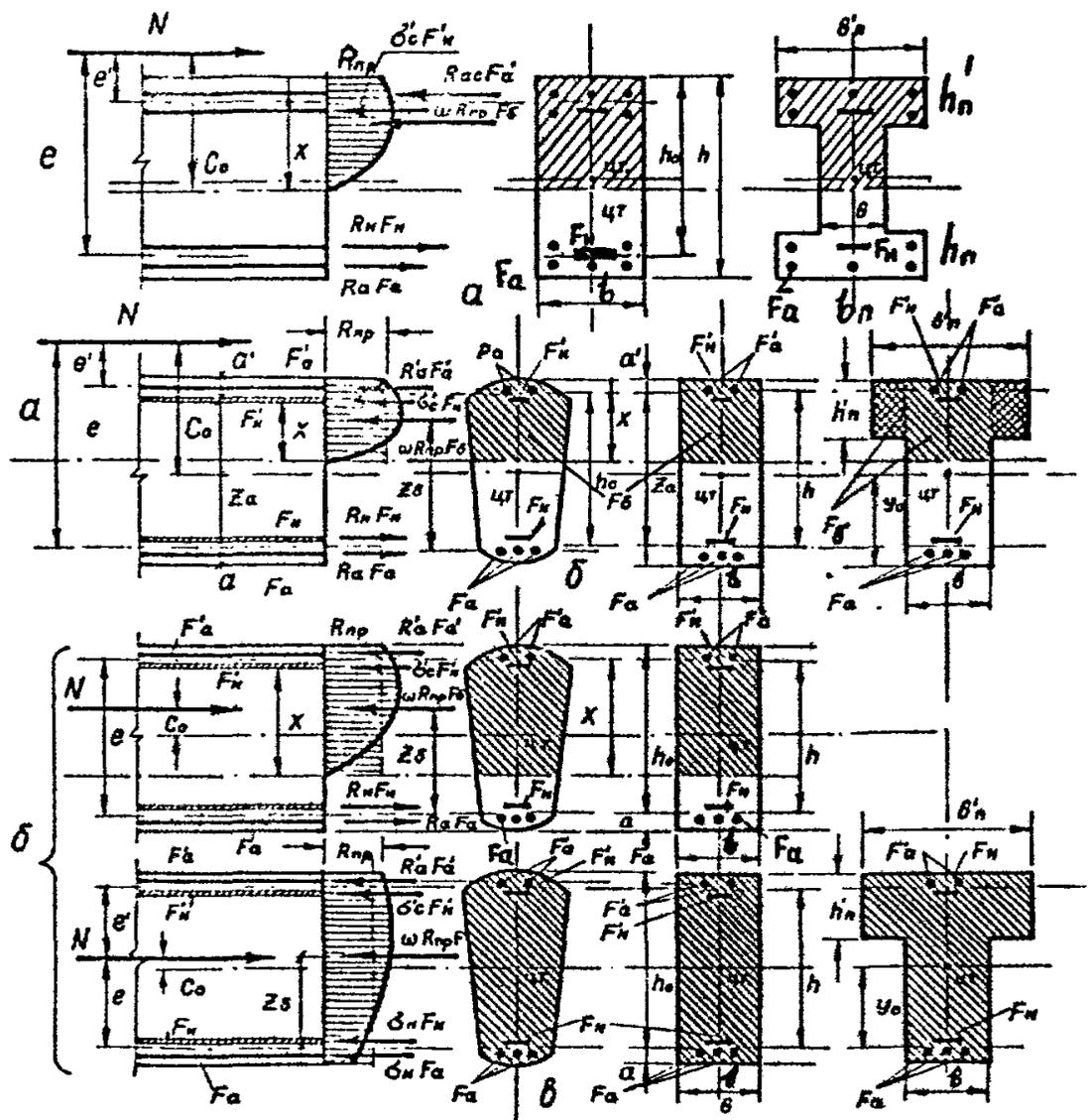


Рис. 10 Расчетные схемы внецентренно-сжатых элементов:  
 а, б, в - при симметричном и несимметричном армировании:  
 а, б - случай 1 (большие эксцентриситеты);  
 в - случай 2 (малые эксцентриситеты)

где  $y_a = \frac{h}{2} - a$ ;  $\alpha_u^2 = \frac{J_{sm}}{bh_o}$  ;  
 $J_{sm}$  - момент приведенного сечения;

при симметричном армировании  $F_a = F_a'$

$$F_a = F_a' = \frac{N - \omega bh_o \xi_R R_{sp}}{R_{ac}} ; \quad (39)$$

при  $\sigma_a = 0$ ,  $F_a = 0$  т.е. не требуется по расчету из условия  $\Sigma Z = 0$

$$F_a' = \frac{N - \omega bh_o \xi_R R_{sp}}{R_{ac}} \quad (40)$$

Расчет тавровых и двутавровых сечений производят аналогично с учетом свесов полок (рис. 10).

#### Внецентренно-растянутые элементы

Расчет внецентренно-растянутых элементов производится в зависимости от положения продольной силы  $N$ , случая внецентренного растяжения.

Несущая способность внецентренно-растянутых элементов проверяется из условий :

а) для случая 1 (большие эксцентриситеты) при  $\xi < \xi_R$ , принимая в основном  $\xi = \xi_R$ ; расчет производится по формулам внецентренного сжатия случай 1;

б) для случая 2 (малые эксцентриситеты) при  $\xi > \xi_R$  (см. п. 3.27 а главы СНиП [1]) из условий

$$\begin{cases} Ne \leq R_a F_a' (h_o - a') ; \\ Ne' \leq R_a F_a (h_o - a) . \end{cases} \quad (41)$$

#### Центрально-растянутые элементы

При расчете сечений центрально-растянутых элементов (рис. 11, а) должно соблюдаться условие

$$N \leq R_a F_a + m_{ak} R_n F_n , \quad (42)$$

где  $F_a$ ,  $F_n$  - площади сечения соответственно обычной и напрягаемой арматуры.

Расчет сечений, наклонных к продольной оси элемента

При расчете сечений, наклонных к продольной оси элемента, на

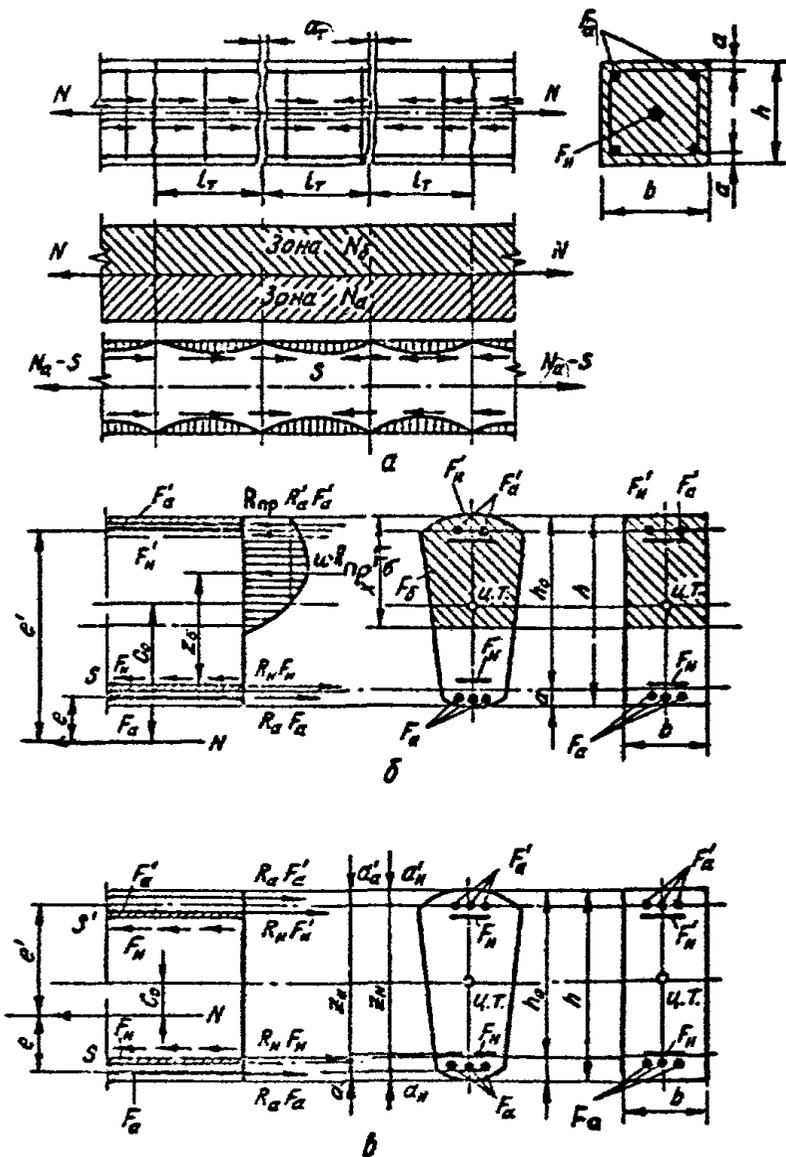


Рис. 11 Расчетные схемы центрально- и внецентренно-растянутых элементов:

а - центрально-растянутые элементы ;

б, в - внецентренно-растянутые элементы: б - случай 1 (большие эксцентриситеты) ;

в - случай 2 (малые эксцентриситеты)

действие поперечной силы следует принимать:

коэффициент  $K_1$  в формуле ( 71 ) главы СНиП [1] равным 0,5;

коэффициент  $K_2$  при определении  $Q_{\delta}$ ,  $Q_{x\delta}$ ,  $C_0$  и  $U_{max}$  равным 1,75;

коэффициент  $K_3$  при расчете изгибаемых элементов без поперечной арматуры равным 0,9.

#### 4. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ВТОРОЙ ГРУППЫ.

Расчет железобетонных элементов по образованию трещин

4.1. Расчет железобетонных элементов по образованию трещин нормальных и наклонных к продольной оси следует производить в соответствии с указаниями пп. 4.1, ..., 4.11 главы СНиП [1] принимая значения коэффициентов  $m_1$  и  $m_2$  по табл. 34 главы СНиП [1] как для тяжелого бетона.

4.2. При расчете на образовании трещин в растянутой зоне бетона наступает предельное состояние стадии Ia, т.е. развивается полная диаграмма с нисходящей ветвью, с крайними напряжениями  $R_{p\bar{d}}$  (рис. 4,б).

Расчет по нормальным сечениям.

4.3. При расчете по нормальным сечениям должны соблюдаться условия

$$N_3 \leq N_T, \quad M_3 \leq M_T \quad (43)$$

Центрально-растянутые элементы

Продольное усилие  $N_T$  определяется по предельным напряжениям в бетоне и арматуре для стадии Ia перед образованием трещин

$$N_T = R_{p\bar{d}} \left( F + \frac{\sigma_a}{\gamma} F_a \right) + N_0, \quad (44)$$

где  $F$  - площадь сечения элемента;

$F_a$  - суммарная площадь обычной и напряженной арматуры;

$N_0$  - усилие предварительного обжатия.

Изгибаемые, внецентренно-сжатые и растянутые элементы.

4.4. Внешними усилиями являются: при изгибе момент внешних сил  $M$ , а в случае внецентренного сжатия или растяжения при наличии сжатой зоны  $M = N X_i$ , где  $X_i$  - расстояние от внешней силы до центра тяжести сжатой зоны.

Изгиб  $M_3 = M$ ;

внецентренное сжатие и растяжение (45)

$$M_3 = N_0 (e_0 + \frac{2}{3} X_T) - N_i X_{ii}.$$

4.5. Напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуры, исходя из гипотез плоских сечений, равны

$$\begin{cases} \sigma_s = \frac{R_{pI}}{\gamma_p} \cdot \frac{\nu \cdot X_T}{h - X_T} = R_{pI} \frac{X_T}{h - X_T} \quad \text{при } \nu = \nu_p; \\ \sigma_a = \frac{n_a}{\gamma} R_{pII}. \end{cases} \quad (46)$$

Момент трещиностойкости  $M_T$  будет равен

$$\begin{cases} M_T = R_{pII} \left[ \nu_0 b h^2 + \frac{n_a}{\gamma} F_a (h_0 - \frac{1}{3} X_T) \right] = R_{pII} W_T; \\ W_T = \nu_0 b h^2 + \frac{n_a}{\gamma} F_a (h_0 - \frac{1}{3} X_T) = W_{sT} + W_{aT}. \end{cases} \quad (47)$$

Для обычных элементов можно принимать  $X_T = 0,25h$ ; в общем

виде упругопластический момент сопротивления равен

$$\begin{cases} W_T = \left[ \nu_0 + 0,15 (\gamma_1 + \frac{n_a}{\gamma} \mu_a) + 0,15 \gamma_1' \right] b h^2; \\ \gamma_1 = \frac{(b_0 - b) h n}{b h}; \quad \gamma_1' = \frac{(b_0' - b) h n + n_a / \gamma F_a'}{b h}. \end{cases} \quad (48)$$

Для предварительно-напряженных элементов

$$\begin{cases} W_T = \nu_0 b h^2 + F_N \left( \frac{n_N}{\gamma} + \frac{\sigma_0}{R_{pII}} \right) (h_0 - \frac{1}{3} X_T) - \\ - F_N' \left( \frac{\sigma_0'}{R_{pI}} - \frac{n_N}{\gamma} \frac{X_T - a'}{h - X_T} \right) \left( \frac{1}{3} X_T - a' \right). \end{cases} \quad (49)$$

Высота сжатой зоны перед образованием трещины  $X_T$  определяется

из условий статики  $\sum Z = 0$

$$\begin{cases} \pm N + R_{pII} \left[ b(h - X_T) + F_{cb} - \frac{\delta X_T^2}{h - X_T} - \frac{X_T - 0,5 h n'}{\nu(h - X_T)} F'_{cb} \right] + \\ + \left( \sigma_0 + \frac{n_N}{\gamma} R_{pII} \right) F_N' \left( \sigma_0' - \frac{n_N}{\gamma} R_{pII} \right) \frac{X_T - a'}{h - X_T} F_N' = 0; \\ \text{откуда} \\ X_T = h - \frac{\delta h^2 + \frac{F_{cb}}{\nu} (h - 0,5 h n') + \frac{n_N}{\gamma} (h - a') F_N'}{\frac{F_{cb}}{\nu} - F_{cb} + \frac{N_0 \pm N}{R_{pI}}}. \end{cases} \quad (50)$$

Знак "плюс" при внецентренном сжатии.

Момент трещиностойкости допускается определять по ядровым точкам, согласно указаниям п.п. 4.5 ... 4.7 главы СНиП [1].

Расчет железобетонных элементов  
по раскрытию трещин

4.6. Расчет по раскрытию трещин, нормальных и наклонных к продольной оси элемента следует производить в соответствии с указаниями п.п. 4.13, ..., 4.17 главы СНиП [1], принимая коэффициент  $C_g$  в формуле (138) главы СНиП [1] как для тяжелого (см. формулу (51)).

4.7. Критическую ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, определять по формулам:

$$\sigma_{tr} = K_1 C_g \eta_a \frac{[1 - \mu^2(\eta)] K_{гсн}^2 b h_T}{\gamma E_s \Delta N_a} K_T, \quad (51)$$

где  $K_1$  - коэффициент, принимаемый равным:

для изгибаемых и внецентренно-сжатых элементов - 4,0;

для растянутых элементов - 5,0;

$C_g$  - коэффициент принимается равным 1,2 и 1,5 соответственно при кратковременных и длительных нагрузках;

$\eta_a$  - см. (55);

$h_T$  - высота трещины, определяемая по формулам:

$$h_T = \frac{K_{гсн}^2}{x R_{pII}}; \quad h_T = \frac{(\Delta N_a)^2}{\pi K_{гсн}^2}; \quad (52)$$

$K_{гсн}$  - критическое значение коэффициента интенсивности для второй группы предельных состояний, принимаемое по табл. 6;

$K_T$  - коэффициент, учитывающий развитие нелинейных деформаций у кончика трещин и равный  $K_T = 1,15 + 0,01 R_{pII}$

$\Delta N_a$  - приращение усилия в арматуре  $F_a$ , равное  $\Delta N_a = \Delta \sigma_a F_a$ ;

$$\Delta \sigma_a = \sigma_a - \frac{\eta_a}{\gamma} R_{pII} \text{ или}$$

$$\Delta N_a = [\sigma_H - (\sigma_0 + \frac{\eta_H}{\gamma} R_{pII})] F_H; \quad (53)$$

$\sigma_a, \sigma_H$  - напряжения в растянутой арматуре, определяемые по рекомендациям п. 4.15 СНиП [1].

Допускается ширину раскрытия трещин определять по формуле

$$a_{r(z)} = u_s(z) \cdot l_r(z) = \frac{S(z)}{\varepsilon(z)} l_r, \quad (54)$$

где  $S$ ,  $u_s$ ,  $\varepsilon$  - см. формулы (19), (21), (22);

$l_r$  - расстояние между трещинами, определяемое по формуле

$$l_r = \left( \frac{W_r}{Z_s} - \frac{n_a F_a}{\gamma} \right) \frac{1}{d} \eta_a; \quad l_r = \frac{d}{4\mu_a} \eta_a; \quad (55)$$

$F_a, d$  - площадь и средний диаметр растянутой арматуры;

$\eta_a$  - коэффициент, зависящий от вида продольной арматуры, принимаемый равным:

для стержневой периодического профиля  $\eta_a = 1,0$ ;

для гладких стержней  $\eta_a = 1,3$ ;

для проволочной арматуры: периодического профиля и

канатов  $\eta_a = 1,2$ ; для гладкой  $\eta_a = 1,4$ ;

для предварительно-напряженных элементов при вычислении  $F_a, \rho_a$  и  $Z_s$  учитывается площадь сечения и средний диаметр всей растянутой арматуры

$$F_a = F_H + F_a; \quad \rho_a = \rho_H + \rho_a.$$

Относительный сдвиг  $u_s$  допускается определять по формуле

$$u_s = \varepsilon_{ac} - \varepsilon_{sp} = \psi_a \frac{\Delta \sigma_a}{E_a} - \varepsilon_{m \delta p}, \quad (56)$$

где  $\varepsilon_{m \delta p}$  - предельные деформации при растяжении, принимаемые по табл. 2.5 прил. 2;

$\psi_a$  - см. формулу (58).

#### Расчет железобетонных элементов по закрытию трещин

4.8. Расчет железобетонных элементов по закрытию трещин следует производить согласно указаниям п.4.18...4.21 СНиП [1].

#### Расчет элементов железобетонных конструкций по деформациям

4.9. Деформации (прогибы, углы поворота) железобетонных элементов следует вычислять по формулам строительной механики, опре-

деля входящие в них величины кривизны в соответствии с указаниями пп. 4.23, ..., 4.30 главы СНиП [1], принимая

коэффициент  $K_d$ , равным 0,75;

коэффициент  $C$  вычислять по формуле

$$C = 1 + \psi_m, \quad (57)$$

где  $\psi_m$  — предельное расчетное значение характеристики ползучести, определяемое по прил. 2 настоящих Рекомендаций;

$\nu$  — коэффициент упругости бетона сжатой зоны, определяется по формуле (9) настоящих Рекомендаций.

4.10. Величина коэффициента  $\psi_a$  для конструкций из тяжелого шлакощелочного бетона определяется по формуле

$$\psi_a = 1 - \frac{M_T M_{\sigma T}}{M M_p} = 1 - \frac{M_{\sigma T} M_T}{K_{\sigma c} M^2}, \quad (58)$$

где  $M_T$  — момент воспринимаемый сечением, нормальным к продольной оси элемента, при образовании трещин и определяемый по указаниям п. 4.4.

$M_{\sigma T}$  — то же, для бетонного сечения без учета арматуры, определяемый по формуле

$$M_{\sigma T} = R_{pII} (\nu_0 + 0,75 \gamma_1' + 0,075 \gamma_1'') \delta h^2; \quad (59)$$

$\gamma_1$ ,  $\gamma_1'$  — коэффициенты, определяемые по формуле (48) без учета арматуры соответственно для растянутой и сжатой полок тавровых и двутавровых сечений;

$M, M_p$  — изгибающие моменты, соответственно действующий от внешней нагрузки и разрушающий для расчетного сечения, нормального к продольной оси элемента, определяемого при подстановке в формулы расчетных сопротивлений бетона и арматуры для расчета по второй группе предельных состояний.

#### Определение прогибов

4.11. Для элементов или отдельных участков без трещин кривизна определяется как для монолитного тела (п п. 4.24, ..., 4.26

СНиП [1]). Расчет кривизны для всех элементов железобетонных конструкций производится с учетом действия кратковременных, длительных нагрузок, выгиба от предварительного напряжения при кратковременном и длительном его действии.

4.12. Кривизна выражается через крайние частные (по сжатой или растянутой зонам) или суммарные (одновременно по сжатой и растянутой зонам) деформации.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_s}{h_0 - x} = \frac{\epsilon_s}{x} + \frac{\epsilon_s + \epsilon_a}{h_0} \quad (60)$$

Для элементов без трещин перед их появлением удобно определять кривизну с помощью параметров  $A_1$  и  $A_2$ , которые можно определить через деформации (напряжения) при использовании зависимости  $\sigma - \epsilon$  в характерные стадии работы элементов.

Для стадии  $I_a$ :

$$\left\{ \begin{aligned} \epsilon_{aT} = \epsilon_{sp} &= \frac{R_{pI}}{\nu E_s} = A_1 + A_2; \quad \epsilon'_{aT} = \epsilon_{sp} \frac{x_T - a'}{h - x_T} \frac{R_{pI}(x_T - a')}{\nu E_s(h - x_T)} \cong \\ &\cong \epsilon_s = \frac{R_{pI}}{\nu E_s} \cdot \frac{x_T}{h - x_T} = A_1 - A_2, \text{ откуда} \\ A_1 &= \frac{R_{pI}}{2\nu E_s(1 - \xi_T)}; \quad A_2 = \frac{R_{pI}(1 - 2\xi_T)}{2\nu E_s(1 - \xi_T)} = A_1(1 - 2\xi_T). \end{aligned} \right. \quad (61)$$

В момент перед появлением трещин кривизна равна:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{\rho_T} &= \frac{2 A_2}{h} = \frac{R_{pI}(1 - 2\xi_T)}{\nu E_s h(1 - \xi_T)} = \frac{M_T(1 - 2\xi_T)}{\frac{J_{on}}{h - x_T} h \nu E_s(1 - \xi_T)} = \\ &= \frac{M_T}{\frac{1}{1 - 2\xi_T} \nu E_s J_{on}} = \frac{M_T}{K_T E_s J_{on}} = \frac{M_T}{B_T}; \quad K_T = \frac{\nu}{1 - 2\xi_T}. \end{aligned} \right. \quad (62)$$

4.13. В стадиях II и III с появлением и развитием трещин в предельном состоянии, когда в бетоне сжатой зоны установилась полная диаграмма с крайними напряжениями  $\sigma_s \leq R_{ps}$ , а в арматуре растянутой зоны напряжения достигли предельных значений  $\sigma_a \leq R_a$ , кривизну следует определять по предельным расчетным деформациям арматуры и бетона.

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_{ac} &= \frac{\psi_a M f_{na}}{E_a F_a (h_0 - 0,4 \chi_c)} = \frac{\psi_a M f_{na}}{E_a F_a h_0 (1 - 0,4 \xi_c)} = A_1 + A_2; \\ \varepsilon_{bc} &= \frac{\psi_b M f_{nb}}{E_b \omega b \chi_c (h_0 - 0,4 \chi_c)} = \frac{\psi_b M f_{nb}}{E_b \omega b h_0^2 \xi_c (1 - 0,4 \xi_c)} = A_1 - A_2; \\ A_{1/2} &= \frac{M}{2 h_0 (1 - 0,4 \xi_c)} \left[ \frac{\psi_a f_{na}}{E_a F_a} \pm \frac{\psi_b f_{nb}}{E_b \omega b h_0 \xi_c} \right]. \end{aligned} \right. \quad (63)$$

На участках, где образуются нормальные к продольной оси элемента трещины, кривизны изгибаемых, внецентренно-сжатых и внецентренно-растянутых при  $C_{op} \geq 0,8 h_0$  элементов прямоугольного, таврового, двутаврового и коробчатого сечений должны определяться по формуле (158) СНиП [1].

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_3}{h_0^2 (1 - 0,4 \xi_c)} \left[ \frac{\psi_a f_{na}}{E_a F_a} + \frac{\psi_b f_{nb}}{E_b \omega b h_0 (\xi_c + \gamma^3)} \right] - \frac{N_c \psi_a f_{na}}{E_a F_a h},$$

где  $f_{nb}$ ,  $f_{na}$  - функции нелинейности для бетона и арматуры

$$f_{ni} = \frac{1}{\gamma_i}, \text{ где } \gamma, \gamma_a \text{ см. пп. 2.11 и 2.16 Рекомендаций;}$$

$\omega$  - коэффициент полноты эпюры в сжатой зоне определяется по указаниям п. 2.11 Рекомендаций.

4.14. Определение прогибов железобетонных элементов, конструкций из шлакощелочных бетонов, обусловленные деформациями изгиба и сдвига, производится в соответствии с пп. 4.31, ..., 4.34 СНиП [1].

Прогибы от деформаций изгиба определяются по формуле

$$f = S \frac{1}{\rho} l_0^2, \quad (65)$$

где  $S$  - коэффициент, учитывающий вид нагрузки и схему ее приложения, принимается по таблицам 3, 4 приложения 3;

$\frac{1}{\rho}$  - полная величина кривизны.

## 5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.1. При проектировании бетонных и железобетонных конструкций из ШЩБ для обеспечения условий их изготовления, требуемой долговечности и совместной работы арматуры и бетона, следует выполнять конструктивные требования, изложенные в СНиП [1] и в настоящем разделе.

### Минимальные размеры сечения элементов

5.2. Минимальные размеры сечений бетонных и железобетонных элементов, определяемые расчетом, следует назначать из условий эффективности, унификации опалубочных форм и армирования, а также технологических требований. Кроме этого, должны быть выдержаны минимальные расстояния между стержнями, толщина защитного слоя бетона и т.п.

В том случае, когда минимальный размер элемента назначается из условий расположения арматуры, следует соблюдать принцип дробности, отдавая предпочтение большему количеству арматурных стержней меньшего диаметра, чтобы избежать концентрации усадочных напряжений.

5.3. Минимальные толщины монолитных и сборных плит при обеспечении их несущей способности по I и II группам предельных состояний можно назначать, руководствуясь п.5.2. СНиП [1] .

Размеры сечений внецентренно-сжатых элементов должны приниматься такими, чтобы обеспечить гибкость  $\lambda$  в любом направлении, не более: для железобетонных элементов - 150; для колонн, являющихся элементами зданий - 100; для бетонных элементов из ШЩБ - 70.

### Защитный слой для бетона

5.4. Толщина защитного слоя для продольной, поперечной и кон-

структивной арматуры следует принимать в соответствии с пп. 5.4-5.10 СНиП [1].

5.5. Во избежание появления усадочных трещин рекомендуется равномерно распределять конструктивную арматуру, не допуская ее концентрации вблизи поверхности элементов на участках малой длины.

Минимальные расстояния между стержнями арматуры

5.6. Минимальные расстояния между стержнями арматуры следует принимать строго в соответствии с пп. 5.11 - 5.12 СНиП [1] с тем, чтобы обеспечить равномерное заполнение бетоном всех промежутков между арматурными стержнями.

Анкеровка ненапрягаемой арматуры

5.7. Требования анкеровки ненапрягаемой арматуры согласно п.п. 5.13 - 5.15 СНиП [1] должны строго соблюдаться.

Продольное армирование элементов.

5.8. Продольную арматуру в армированных элементах из ШСБ следует устанавливать, руководствуясь пп. 5.16, 5.18-5.21 СНиП [1].

5.9. Диаметр продольных стержней внецентренно-сжатых элементов не должен превышать для тяжелого бетона проектных марок ниже М300 32 мм.

Диаметр продольных стержней внецентренно-сжатых элементов монолитных конструкций должен быть не менее 12 мм.

Поперечное армирование элементов

5.10. Поперечную арматуру в элементах из ШСБ следует устанавливать, руководствуясь пп. 5.22-5.31 СНиП [1].

Сварные соединения арматуры

5.11. Арматурные элементы, применяемые для армирования конструкций из ШСБ, должны быть преимущественно сварными с целью обеспечения лучшей анкеровки арматуры.

При изготовлении арматурных элементов (сеток и каркасов) ре-

комендуется руководствоваться пп. 5.32 - 5.36 СНиП [1] .

Стыки ненапрягаемой арматуры внахлестку ( без сварки) ,

5.12. Для конструкций из ШШБ рекомендуется применять стыковые ненапрягаемой арматуры преимущественно на сварке.

В случае стыковки арматуры внахлестку нужно соблюдать требования пп. 5.37- 5.41 СНиП [1].

Стыки элементов сварных конструкций.

5.13. Стыки элементов сварных конструкций следует выполнять согласно пп. 5.42 - 5.46 СНиП [1].

Отдельные конструктивные требования

5.14. Отдельные конструктивные требования в части устройства осадочных швов, конструктивного армирования, фиксации положения арматуры, установки окаймляющей арматуры отверстий в плитах, ширины швов между элементами сварных перекрытий и установки элементов для захвата конструкций при их подъеме следует выполнять согласно 5.47 - 5.52 СНиП [1].

Дополнительные указания по конструированию  
предварительно-напряженных железобетонных  
элементов

5.15. При конструировании предварительно-напряженных конструкций следует руководствоваться пп. 5.53 - 5.63 СНиП [1] .

## РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

### 6. ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

#### Классификация и технические требования

6.1. Шлакощелочные цементы представляют собой гидравлическое вяжущее, твердеющее в воде, на воздухе, воздушно-влажных условиях, получаемое путем измельчения гранулированных шлаков и их затворения растворами щелочей (натрия, калия), углекислых (карбонатных) или кремнекислых (силикатных) солей щелочных металлов.

6.2. В зависимости от вида затворителя шлакощелочные цементы подразделяются на шлакощелочные, шлакокарбонатные и шлакосиликатные.

В качестве затворителей для шлакощелочных цементов применяются растворы щелочей: шлакокарбонатных - растворы углекислых солей, шлакосиликатных - растворы кремнекислых солей щелочных металлов.

6.3. Шлакощелочные цементы имеют марки:

400, 500, 600, 700, 800.

Шлакокарбонатные цементы имеют марки:

400, 500, 600.

Шлакосиликатные цементы имеют марки:

400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000.

6.4. Шлакощелочные цементы различных марок по прочностным показателям должны удовлетворять требованиям табл. 9.

6.5. Марку шлакощелочных цементов устанавливают посредством испытания стандартных образцов - балочек на изгиб и сжатие по ГОСТ 310.4-76 "Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии".

6.6. Для изготовления балочек применяются цементно-песчаные растворы с нормальным вольским песком состава 1:3. Количест-

Таблица 9

Прочностные показатели шлакощелочных цемента различных марок

Вид испытания	400	500	600	700	800	900	1000
Предел прочности при сжатии, МПа	40	50	60	70	80	90	100
Предел прочности при изгибе, МПа	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5

Таблица 10

Расход воды для приготовления бетонной смеси различной подвижности на заполнителях крупностью от 10 до 70 мм

ОК, см	Ж.с. по ГОСТ 10181-76	Расход воды, л/м <sup>3</sup> при крупности гравия и щебня, мм							
		г р а в и я				щ е б е н ь			
		10	20	40	70	10	20	40	70
-"	40-50	150	135	125	120	160	150	135	130
-"	25-35	160	145	130	125	170	160	145	140
-"	15-20	165	150	135	130	175	165	150	145
-"	10-15	175	160	145	140	185	175	160	155
2-4	-"	190	175	160	155	200	190	175	170
5-7	-"	200	185	170	165	210	200	185	180
8-10	-"	205	190	175	170	215	205	190	185
10-12	-"	215	205	190	180	225	215	200	190
12-16	-"	220	210	197	185	230	220	207	195
16-20	-"	227	218	203	192	237	228	213	202

Примечания:

1. Расход воды приведен для смеси с НЦТ - 26-28% и на песке с  $\mu_{кр}^I = 2$ .

2. При изменении нормальной плотности цементного теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 3-5 л, в большую сторону - увеличивается на 3-5 л/м<sup>3</sup>.

3. При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 3-5 л, в большую сторону - уменьшается на 3-5 л.

во затворителя для приготовления раствора принимается соответствующим цементно-затворительному отношению, равному  $\frac{Ц}{З}=2,85$ , где Ц - содержание цемента в растворе в кг; З - количество затворителя в литрах ( без учета плотности затворителя). В качестве затворителя применяются водные растворы щелочей, карбонатов щелочей или силикатных солей щелочных металлов плотностью  $1,20 \text{ г/см}^3$ .

6.7. Шлакощелочные цементы при испытании образцов лепешек из пластичного теста с  $\frac{Ц}{З}=3,30$  на равномерность изменения объема по ГОСТ 310.3-76 "Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема" должны показывать равномерность изменения объема.

6.8. Начало схватывания теста шлакощелочного цемента, приготовленного при цементно-затворительном отношении, равном  $3,30$ , должно наступать не ранее 30 мин., а конец схватывания не позднее 12 часов. По согласованию с потребителем допускаются другие сроки схватывания цементов.

6.9. Шлакосиликатные цементы (на основе тонкомолотого шлака и раствора силиката натрия) являются особобыстротвердеющими.

6.10. В нормальных влажных условиях и температурах около  $20^{\circ}\text{C}$  высокопрочные бетоны на шлакосиликатном цементе за 8 часов набирают прочность, равную  $15-20 \text{ МПа}$ , которая через 24 часа возрастает до  $15-30 \text{ МПа}$  и достигает  $50-70 \text{ МПа}$  к семисуточному сроку.

6.11. В условиях тепловлажностной обработки при  $90-100^{\circ}\text{C}$  за 1-2 часа изотермического прогрева прочность бетонов на шлакосиликатном цементе достигает 70-80% марочной и может быть равной  $30-50 \text{ МПа}$ .

6.12. Быстротвердеющему шлакосиликатному цементу можно придавать короткие сроки схватывания. При коротких сроках схватывания и ускоренном структурообразовании бетоны на быстротвердеющем шлакосиликатном цементе выдерживают ускоренный подъем температуры

(50–60°C в час) в начале тепловлажностной обработки конструкций и позволяет сократить общую продолжительность ее до 4–6 часов.

6.13. Шлакщелочные цементы обладают свойством схватывания, твердения, начального выбора прочности в условиях отрицательных температур до минус 20°C и интенсивного дальнейшего твердения при положительных температурах окружающей среды.

#### Требования к исходным материалам.

6.14. Для производства шлакощелочных цементов применяются гранулированные доменные и электротермофосфорные шлаки сухой, полусухой или мокрой грануляции. Шлаки должны удовлетворять требованиям ГОСТ 3476–74 "Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов" [69]. Допускается применение других шлаков после проведения соответствующих испытаний для получения цементов и бетонов.

6.15. Едкие щелочи, карбонаты и силикаты едких щелочей, применяемые в виде водных растворов для затворения цемента, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 2263–79 "Натр едкий технический. Технические условия"; ГОСТ 9285–78 "Калия гидрат окиси технический. Технические условия"; МРТУ 6–08–194–64 "Смесь плавленных щелочей"; ТУ 6–03–28–02–76 "Красный каустик"; СП 6–03–23–78–70 "Смесь щелочей. Карбонаты едких щелочей"; ГОСТ 5100–73 "Сода кальцинированная техническая. Технические условия"; ГОСТ 10689–75 "Сода кальцинированная техническая из нефелинового сырья. Технические условия"; ТУ 6.03.294–74 "Главсода кальцинированной"; ГОСТ 9285–78 "Калий углекислый технический. Технические условия"; Силикаты едких щелочей: ГОСТ 13079–81 "Силикат натрия растворимый"; ГОСТ 13078–81 "Стекло натриево-жидкое" [90–100].

6.16. Для затворения шлакосиликатных цементов, получаемых из кислых доменных шлаков, должны применяться растворы силиката нат-

рия с силикатным модулем от 1,0 до 2,1.

Для затворения шлакосиликатных цементов из основных шлаков должны применяться растворы силиката натрия с силикатным модулем от 1,8 до 2,7. Силикаты натрия с силикатным модулем от 1,0 до 2,4 получают посредством смешения высокомодульных силикатов натрия с растворами щелочей. Высокоосновные силикаты натрия могут изготавливаться стекольной промышленностью по специальным заказам.

#### Технология производства шлакощелочных цементов

6.17. Производство шлакокарбонатного цемента может осуществляться, путем совместного или раздельного помола гранулированного шлака и щелочного компонента;

Производство шлакощелочного и шлакосиликатного цемента осуществляется путем помола шлака с последующим затворением растворами щелочей или силикатов едких щелочей. В этом случае шлакощелочной цемент состоит из двух компонентов, поставляемых в комплекте раздельно (шлака молотого гранулированного и щелочного компонента).

6.18. Влажность компонентов перед помолом не должна превышать 1,5%.

6.19. Удельная поверхность молотого шлака должна быть в пределах 3000-3500 см<sup>2</sup> на один грамм массы, а при просеивании через сито 0,08 остаток должен быть не более 10%.

6.20. При просушке шлака совместно с содой температура топочных газов при входе в сушильный барабан должна быть не более 500°C, а при выходе материала из барабана не более 150°C.

6.21. Обеспечение требуемой тонкости помола цемента осуществляется своевременной догрузкой мельниц мелющими телами и периодической сортировкой мелющих тел в соответствии с правилами, действующими в цементной промышленности. С целью интенсификации помола допускается использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) в

количестве не более 1%, а также инертных добавок (кварцевого песка и др.) не более 10% от массы шлака.

6.22. Дозирование сырьевых материалов в мельницу следует производить с точностью: гранулированных шлаков и инертных добавок  $\pm 2\%$ ; щелочных компонентов -  $\pm 1\%$ ; ПАВ -  $\pm 0,02\%$ .

#### Транспортирование, хранение и паспортизация

6.23. Транспортирование и хранение шлакощелочных цементов должно осуществляться в соответствии с ГОСТ 22237-76 со следующими дополнениями:

при транспортировании и хранении щелочных компонентов необходимо руководствоваться ГОСТ 10690-73, ГОСТ 5100-73, ГОСТ 10689-75, ГОСТ 13078-81, ГОСТ 9265-78, ГОСТ 2263-79;

при транспортировании и хранении шлакощелочных цементов не допускается смешивание с гипсом, известью и поргланцементом даже в малых количествах.

6.24. Немолотый гранулированный шлак допускается перевозить в открытом виде и хранить на открытых складских площадках не более 3 лет. Во избежание слеживания в теплый период года шлак необходимо перелопачивать не реже одного раза в 3 месяца.

6.25. Едкие щелочи и карбонаты щелочей при длительном хранении подвержены комкованию. Во избежание комкования расходный бункер должен быть оборудован паровыми регистрами.

6.26. Отгружаемый потребителю цемент должен быть принят техническим контролем завода-изготовителя. Приемку шлакощелочных цементов следует производить по ГОСТ 22236-76 [27].

6.27. Цемент упаковывают в четырехслойные, пятислойные или шестислойные бумажные мешки массой не более 80 кг.

6.28. На мешках с цементом должна быть маркировка, указывающая: название цемента и его марку (в случае помола чистого шлака должно быть указано - шлак молотый ГОСТ 3476-74), номер партии и дату изготовления.

6.29. Завод-изготовитель должен гарантировать соответствие шлакощелочного цемента техническим требованиям, изложенным в настоящих Рекомендациях и сопровождать каждую партию паспортом, удостоверяющим характеристику продукции. В паспорте должно быть указано: наименование завода-изготовителя, его ведомственная подчиненность и адрес;

название цемента и вид щелочного компонента, состав цемента и его марка;

номер партии и дата его изготовления.

## 7. ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ БЕТОНЫ

### Требования к материалам

7.1. Для приготовления тяжелых бетонов применяют шлакощелочные цементы, отвечающие требованиям пп. 6.1. - 6.29 настоящих Рекомендаций .

7.2. Мелкий заполнитель для бетона должен отвечать требованиям ГОСТ 8736-77, ГОСТ 10268-80 и дополнительным требованиям ГОСТ 10178-76, а также требованиям СНиП П-15-74. Допускается применять после проведения соответствующих испытаний, технико-экономического обоснования и согласования более мелкие пески, отсеви камнедробления, золошлаковые смеси, дробленый шлак.

7.3. Крупный заполнитель должен отвечать требованиям ГОСТ 8267-82, ГОСТ 10260-82, ГОСТ 8268-82, ГОСТ 10268-80 и дополнительным требованиям ГОСТ 5578-76. Допускается применять после проведения соответствующих испытаний, технико-экономического обоснования и согласования промышленные отходы и хвосты, получаемые при переработке руд черных и цветных металлов, асбеста, различных флюсов, шлаков, горелых пород.

7.4. Допускается применение заполнителей с суммарным содержанием пылевидных, илистых и глинистых частиц до 10%. В случае обеспече-

ния заданной прочности бетона и однородности по прочности в соответствии с требованиями ГОСТ 12105.0-80 и технико-экономическом обосновании количество пылевидных и илстых частиц может достигать 15%.

7.5. Не допускается содержание в заполнителе минеральных веществ, взаимодействующих с щелочами, с образованием сернистых, хлористых и других растворимых солей более 0,5%, а органических щелочерастворимых веществ - более 0,2%.

7.6. Вода для затворения и поливки бетона должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732-79. "Вода для бетонов и растворов. Технические условия".

7.7. Арматурная сталь, применяемая для армирования железобетонных изделий, должна отвечать требованиям ГОСТ 5781-82.

7.8. Разрешается применять добавки, улучшающие свойства бетонной смеси, структуру затвердевшего бетона, регулирующие твердение. Добавки должны применяться только после их непосредственного испытания.

В соответствии с требованиями СНиП I-B.2-69 "Вязкие материалы неорганические и добавки для бетонов и растворов". Различают такие виды добавок: минеральные активные, применяемые в целях экономии цемента (зола ТЭС, кремнезем, отходы агломерации, горелье породы и др.); поверхностно-активные, подразделяющиеся на гидрофильно-пластифицирующие, гидрофобно-пластифицирующие и микропеннообразующие (ГЭН-ГЮ, ГЭН-И', мылонафт, КССБ, асидол, асидол мылонафт и др.). Введение добавок в бетонную смесь на шлакощелочных цементах осуществляют по технологии и нормативам, принятым для бетонов на клинкерных цементах.

## 8. ПОДБОР СОСТАВОВ ТЯЖЕЛЫХ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ

### Исходные данные

8.1. В проекте сооружения, проекте организации работ, рабочих

чертежах монолитных или сборных бетонных и железобетонных конструкций, технических условиях обычно содержатся следующие исходные данные:

- а) проектная марка бетона к заданному возрасту, требуемая доля марочной прочности к определенному сроку (распалубочная, передаточная прочности), а также марка по водонепроницаемости (В), морозостойкости ( $M_{p3}$ ), истираемости, коррозионной стойкости и др.;
- б) подвижность; осадка конуса (см) или жесткость (сек) бетонной смеси;
- в) виды и наибольшая крупность заполнителей, число и размеры фракции, которые следует применять для приготовления бетонной смеси;
- г) вид и марка цемента.

8.2. Цемент является вяжущим веществом, посредством которого обеспечивается склеивание сыпучих разнозернистых материалов в искусственный камень – бетон.

Прочность цементного камня и бетона определяется активностью цемента, расходом цемента и технологическими факторами.

8.3. Зависимость прочности бетона от активности цемента, расхода цемента и расхода затворителя имеет следующий вид:

$$R_{\sigma} = f\left(\frac{R_{\alpha} \text{ Ц}}{3}\right), \quad (66)$$

где  $R_{\sigma}$  – прочность бетона;

$R_{\alpha}$  – активность цемента;

Ц и 3 – расходы цемента и затворителя (плотность затворителя принята постоянной, равной 1,20).

8.4. Как следует из уравнения (66), прочность бетона при постоянной активности цемента, расходе затворителя тем выше, чем больше расход цемента и плотность цементного камня.

С увеличением расхода затворителя при постоянном расходе цемента плотность и прочность цементного камня и бетона уменьшаются.

8.5. В бетонах умеренной подвижности относительно высокие плотность и прочность цементного камня достигаются при расходах цемента 500-550 кг/м<sup>3</sup>. При указанных расходах наиболее полно используются вяжущие свойства цемента.

8.6. При расходах цемента 500-550 кг/м<sup>3</sup> и затворителя около 170 л/м<sup>3</sup> соотношение между цементом и затворителем достигает значений равных 3:1.

Удельная масса цемента составляет около 3 г/см<sup>3</sup>.

В рассматриваемом случае на зерна цемента будет приходиться 50% объема цементного теста и затвердевшего цементного камня, а 50% объема будет занимать жидкая фаза - затворитель.

8.7. При содержании в цементном тесте и затвердевшем цементном камне зерен цемента в количестве 50% общего объема возникает наибольшее число контактов между зернами цемента, чем в составах с меньшими расходами цемента, что обеспечивает более полное использование вяжущих свойств цемента и более высокие прочностные показатели бетона.

В связи с тем, что цемент представляет собой разнозернистый материал с размером зерен от 5 до 100 микрон, законы упаковки зерен и межзерновой пустотности аналогичны обычным разнозернистым материалам.

8.8. Затворитель является средой, определяющей пластические свойства и подвижность бетонной смеси, протекание физико-химических процессов, твердение цемента и нарастание прочности бетона.

Пластичность и подвижность бетонной смеси предопределяется расходом затворителя и почти не зависит от расхода цемента (при постоянной плотности затворителя).

$$OK = f(z), \quad (67)$$

где ОК - подвижность бетонной смеси.

В бетонах одинаковой подвижности, крупности заполнителей с разными расходами цемента расход воды (затворителя) является величиной постоянной [18].

8.9. Для приготовления бетонов должны применяться смеси заполнителей, имеющие наименьшую пустотность и наибольшую плотность,

8.10. Наибольшая плотность смеси заполнителей и наименьшая межзернованая плотность позволяют обеспечить минимальный расход цементного теста, необходимого для полного заполнения пустот смеси заполнителей, создания клеющего слоя между зернами песка и крупного заполнителя, образования плотной, прочной структуры бетона, обеспечения заданной подвижности бетонной смеси и прочности бетона при минимальных расходах цемента и затворителя.

8.11. Состав смеси заполнителей с наименьшей пустотностью принимается за основной для приготовления бетонов с расходом цемента  $350 \text{ кг/м}^3$ . При увеличении количества цемента расход крупного заполнителя в составе бетона следует оставлять неизменным, а содержание песка необходимо уменьшать на величину, равную увеличению расхода цемента против состава с расходом цемента  $350 \text{ кг/м}^3$ .

8.12. Основной задачей подбора состава бетона является определение расхода цемента, затворителя и заполнителей, обеспечивающих получение заданной прочности бетона и подвижности бетонной смеси при минимальных расходах затворителя и цемента.

#### Определение расходов затворителя.

8.13. На основании положения постоянства расходов воды в бетонах равной подвижности с различными расходами цемента НИИЖБом разработаны таблицы и графики для определения расходов воды в зависимости от подвижности бетонной смеси и крупности заполнителей (табл.10).

Количество затворителя для шлакощелочных бетонов заданной подвижности определяется по табл. 10 аналогично бетонам на портландцементе с последующим приготовлением опытных замесов и корректировкой.

Примечание. В предлагаемом экспериментальном способе подбора бетона на шлакощелочном цементе термином "цемент" обозначается порошок тонкомолотого гранулированного шлака; термином, "затворитель" называется водный раствор щелочных солей слабых кислот (кремнекислоты и углекислоты) или щелочей.

Плотность затворителя принимается постоянной равной 1,20 (условно).

#### Спределение расходов цемента

8.14. Активность цемента одной партии обычно известна и почти не изменяется в течении 3-6 месяцев.

Расход затворителя для бетонов одинаковой подвижности также заранее известен и является постоянной величиной.

Для рассматриваемого случая в уравнении (66) переменным будет только расход цемента "Ц", и оно будет иметь вид:

$$R_{\sigma} = f(\text{Ц}). \quad (68)$$

Таким образом, подбор состава бетона заданной подвижности при постоянных и заранее известных расходах воды и активности цемента заключается в установлении расхода цемента, обеспечивающего получение проектной прочности.

Для шлакощелочных бетонов зависимость между прочностью бетона и расходом цемента находится опытным путем посредством приготовления и испытания бетонных образцов из бетонных смесей с различными расходами цемента и их испытания на прочность после твердения в заданных условиях.

Расход цемента, обеспечивающий получение бетона заданной прочности, определяется на основании указанной зависимости (68)

между прочностью бетона и расходом цемента.

Примерные составы бетонов для изготовления бетонных образцов с расходами цемента, ориентировочно равными 350, 450 и 550 кг/м<sup>3</sup>, приведены в табл. 11.

8.15. Для приготовления бетонных смесей, изготовления бетонных образцов и установления зависимости между прочностью бетона и расходом цемента применяется затворитель плотностью 1,20 г/см<sup>3</sup>.

В связи с тем, что активность шлакоцеолочных цемента уменьшается с понижением плотности затворителя, также определяется зависимость  $R_b = f(U)$  при применении для изготовления бетонных смесей и бетонных образцов затворителя плотностью 1,10 г/см<sup>3</sup>.

Для бетонов с затворителем плотностью 1,10 г/см<sup>3</sup> применяются те же составы бетонных смесей, что и при затворителе плотностью 1,20 г/см<sup>3</sup>.

8.16. На основании прочностных показателей образцов, изготовленных из опытных замесов с расходами цемента 350, 450 и 550 кг/м<sup>3</sup>, строится график зависимости между расходом цемента и прочностью бетона:  $R_b = f(U)$  при плотностях затворителей 1,10 и 1,20 г/см<sup>3</sup> (рис. 12).

8.17. Установленные зависимости между расходом цемента, прочностью бетона и плотностью затворителя позволяют находить расходы цемента и других составляющих при проектировании бетонов любой заданной прочности, отличной от опытных замесов.

8.18. Получение зависимости прочности бетонов от расходов цемента при плотностях затворителя 1,10 и 1,20 г/см<sup>3</sup> позволяют определить расходы цемента не только при указанных плотностях затворителей, но также и для промежуточных значений плотностей.

#### Определение расхода заполнителей

8.19. Расходы крупного заполнителя и затворителя для проектируемого бетона принимаются одинаковыми с ближайшим по расходу цемента составом бетона, полученным после корректировки табл. 11 на

Расход материалов на контрольные замесы.

Таблица 11

Цемент:затворитель 4/3	Расход материалов на замес 10 л, кг					
	цемент	песок	щебень	доля песка	затворитель, л	всего
2,0	3,5	7,2	12,0	0,38	1,75	24,45
2,5	4,5	6,2	12,0	0,34	1,60	24,5
3,0	5,5	5,2	12,0	0,30	1,80	24,5

## Примечания:

1. В таблице приведены составы бетонов на среднезернистом песке и щебне крупностью до 20 мм. Расход щебня равен 0,85 м<sup>3</sup> на кубометр бетонной смеси.
2. При применении крупнозернистого песка с M<sub>к</sub> 2,5 расход щебня следует уменьшить до 0,75-0,80 м<sup>3</sup>, а при мелкозернистом песке увеличивается до 0,9-0,95 м<sup>3</sup> на кубометр бетонной смеси.
3. С увеличением размеров зерен крупного заполнителя его содержание может быть повышено до 0,9-0,95 м<sup>3</sup> на кубометр бетона.

Расход материалов, прочность контрольных замесов.

Таблица 12

№ п/п	Соотношение цемент:затворитель	Расход материалов на замес 10 л, кг				Ссадка конуса, см	Предел прочности при сжатии, МПа		Плотность затворителя, кг/л
		цемент	песок	щебень	затворит,		после пропаривания	через 28 суток	
1	2,0	3,5	7,2	12,0	1,75	2	30,5	33,5	1,20
2	2,5	4,5	6,2	12,0	1,80	3	45,1	46,6	1,20
3	3,0	5,5	5,2	12,0	1,80	1	65,0	65,0	1,20
4	2,0	3,5	7,2	12,0	1,75	3	15,2	24,3	1,10
5	2,5	4,5	6,2	12,0	1,80	4	24,6	33,6	1,10
6	3,0	5,5	5,2	12,0	1,80	2	37,2	47,6	1,10

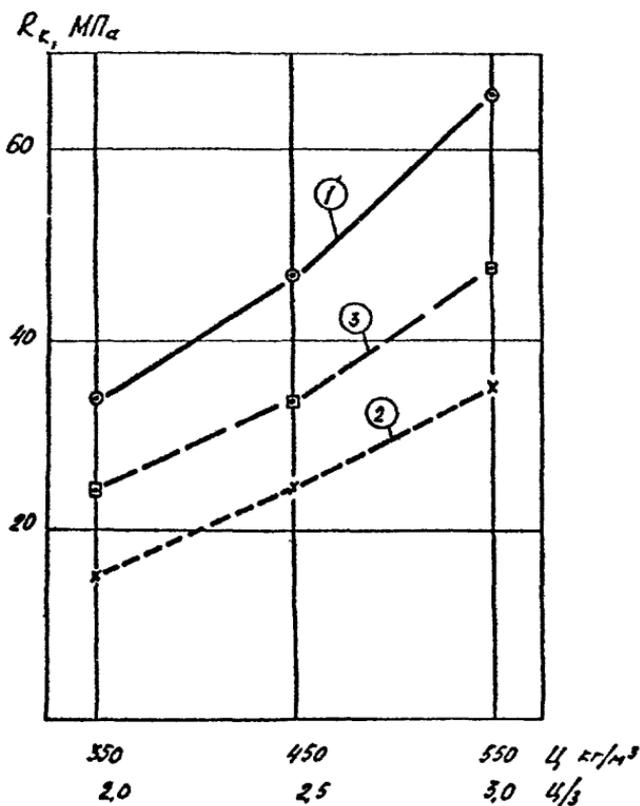


Рис.12. Влияние расходов цемента на прочность шлакощелочных бетонов: 1-бетоны с затворителем плотностью 1,20; 2-бетоны с затворителем плотностью 1,10 после пропаривания; 3-бетоны с затворителем плотностью 1,10 через 28 дней

основании опытных замесов.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ц}_i = \text{Ц}_0, \\ \text{З}_i = \text{З}_0, \end{array} \right. \quad (69)$$

где  $\text{Ц}_i$  и  $\text{З}_i$  - расходы крупного заполнителя и затворителя в подбираемом составе бетона;

$\text{Ц}_0$  и  $\text{З}_0$  - то же, в опытных замесах.

8.20. Расход песка принимается равным расходу песка в опытном замесе, уменьшенном на разность расходов цемента в проектируемом и опытных составах.

$$\text{П}_i = \text{П}_0 - (\text{Ц}_i - \text{Ц}_0), \quad (70)$$

где  $\text{П}_i$  и  $\text{Ц}_i$  - расходы песка и цемента в проектируемом составе бетона;

$\text{П}_0$  и  $\text{Ц}_0$  - то же, в ближайшем по расходу цемента опытном замесе.

#### Корректировка состава бетона

8.21. После определения состава проектируемого бетона заданной прочности делают контрольный замес. На контрольном замесе уточняют подвижность и объемную массу бетонной смеси, изготавливают образцы и проверяют прочность бетона после твердения в заданных условиях.

8.22. В соответствии с фактической объемной массой бетонной смеси контрольного замеса корректируются расходы цемента, затворителя, песка и щебня на кубометр бетона посредством умножения на коэффициент

$$K_{\text{ф}} = \frac{\gamma_{\text{бф}}}{\gamma_{\text{бт}}}, \quad (71)$$

где  $\gamma_{\text{бф}}$  - объемная масса бетонной смеси контрольного замеса;  
 $\gamma_{\text{бт}}$  - объемная масса бетонной смеси (табл.4.5-4.9 прил.4).

8.23. Контрольная проверка расчета состава бетона производится по уравнению

$$\int_{\text{бф}} = Ц + \rho_3 + П + Щ , \quad ( 72 )$$

где Ц, З, П, Щ – расходы цемента, затворителя, песка и щебня, откорректированные с учетом фактической объемной массы бетонной смеси контрольного замеса.

8.24. При соответствии прочности образцов бетона контрольного замеса, заданной проектом, состав бетона считается подобранным и принимается для передачи в производство.

#### Изготовление и испытание образцов

8.25. Рекомендуемые составы бетонных смесей для опытных замесов и определение зависимости прочности бетона от расхода цемента приведены в табл. 11.

Расходы материалов даны на замес 10 л для изготовления 9 образцов размером 10x10x10 при наибольшей крупности заполнителя 20 мм.

8.26. Для заполнителя крупностью более 20 мм размер образцов назначается по ГОСТ 1018078, соответственно увеличивают расход материалов, потребных для их изготовления.

8.27. На первом пробном замесе с расходом цемента 350 кг/м<sup>3</sup> определяются осадка конуса, объемная масса бетона и уточняется количество затворителя, обеспечивающего заданную осадку конуса.

8.28. После уточнения расхода затворителя по заданной осадке конуса делают повторный замес и изготавливают образцы в количестве 9 штук для определения прочности бетона.

8.29. Аналогично изготавливают, испытывают и определяют прочность бетонов из опытных замесов двух других составов с расходами цемента 450 и 550 кг/м<sup>3</sup>. Количество затворителя для замесов 2-го и 3-го составов принимают и корректируют с учетом затворителя в опытном замесе первого состава с расходом цемента 350 кг/м<sup>3</sup>.

8.30. Для опытных замесов должны применяться воздушно-сухие

заполнителя, предварительно подсушенные до постоянного веса в сухом помещении ( относительная влажность воздуха менее 60%) при температуре  $\pm 5-25^{\circ}\text{C}$ .

Подбор составов бетонов при других подвижностях бетонной смеси и активности цемента.

8.31. Установленные опытным путем зависимости  $R_{\beta} = f(\text{Ц})$  и  $\text{ОК} = f(\text{З})$  позволяют определять расход цемента в бетонах требуемой прочности на цементах различной активности при разных подвижностях бетонных смесей.

8.32. При цементах другой активности, чем в опытных замесах, для бетона требуемой прочности вначале по графику зависимости  $R_{\beta} = f(\text{Ц})$  определяется расход цемента без учета активности нового цемента.

На основании найденного расхода цемента по уравнению ( 73 ) определяется расход нового цемента:

$$\text{Ц} = \text{Ц}_0 \cdot \frac{R_{\text{ц}0}}{R_{\text{ц}}} \quad ( 73 )$$

где  $\text{Ц}_0$  и  $R_{\text{ц}0}$  - расход и активность цемента опытных замесов;

$\text{Ц}$  и  $R_{\text{ц}}$  - расход и активность нового цемента.

8.33. Аналогично корректируется расход цемента при изменении расхода затворителя и подвижности бетонной смеси.

$$\text{Ц} = \text{Ц}_0 \cdot \frac{\text{З}_0}{\text{З}} \quad ( 74 )$$

где  $\text{З}_0$  - расход затворителя в опытных замесах;

$\text{З}$  - расход затворителя бетонных смесей другой подвижности, найден в опытных замесах.

8.34. Корректировка расхода других материалов производится в соответствии с изложенным в пп. 8.19-8.23.

Корректировка состава бетона с учетом влажности заполнителей

8.35. При передаче составов бетонов на завод для производства

бетонных смесей и изготовления конструкций необходимо корректировать расходы заполнителей, расход и плотность затворителя с учетом влажности заполнителей.

8.36. Расходы песка и щебня увеличиваются, а затворителя уменьшаются на воду, содержащуюся в заполнителях. При этом плотность затворителя повышается на величину, обеспечивающую получение расчетной плотности затворителя в приготовленной бетонной смеси.

8.37. Расход затворителя корректируют по уравнению

$$Z_{п} = Z - B_{з} . \quad ( 75 )$$

8.38. Плотность затворителя корректируют по уравнению

$$\rho_{п} = \rho \frac{Z}{Z - B_{з}} . \quad ( 76 )$$

где  $Z_{п}$  - расход затворителя с учетом воды, содержащейся в заполнителях;

$Z$  - расход затворителя без учета влажности заполнителя;

$B_{з}$  - вода, содержащаяся в заполнителях;

$\rho$  - плотность затворителя без учета влажности заполнителей;

$\rho_{п}$  - то же, с учетом влажности заполнителей.

Пример подбора состава бетона

Требуется подобрать состав бетона марки 400 . Подвижность бетонной смеси: ОК-2см.

Шлакосиликатный цемент марки 600. Песок с модулем крупности  $M_{кр} = 1,45$ . Щебень гранитной фракции 5-20 мм. Затворитель - раствор силиката натрия. Силикатный модуль силиката натрия  $M_c = 2,1$ .

Примечание.

Водные растворы силиката натрия, образующие в смеси с тонко-молотым шлаком шлакосиликатный цемент, являются наиболее эффективным затворителем бетонов. Обычно активность шлакосиликатного цемента в 1,5- 2 раза превышает активность шлакокарбонатного цемента, получаемого затворением тонко-молотого шлака раствором карбоната натрия.

Высокая активность шлакосиликатного цемента позволяет в 1,5-2 раза уменьшить расходы щелочесодержащего компонента затрачиваемого на приготовление бетона против шлакокарбонатного цемента при равных прочностных показателях бетонов и получить значительную экономию щелочесодержащего компонента.

Одновременно значительно снижается содержание в бетоне едкой щелочи в связи с меньшим количеством щелочи в силикатах натрия по сравнению с карбонатами натрия.

В соответствии с пп. 8.13-8.38. и табл. 11 назначаем составы бетонов, изготавливаем и испытываем бетонные образцы-кубы размером 10х10х10 см.

Изготовление и испытание образцов производится по методике, изложенной в настоящих рекомендациях (п.8.25-8.30). Для изготовления первой серии образцов бетонов трех составов (табл.11) применяется затворитель плотностью 1,20 г/мл. Также готовится вторая серия образцов бетонов трех составов на затворителе плотностью 1,10 г/мл.

Результаты определения прочностных показателей бетонных образцов на затворителях плотностью 1,10 и 1,20 приводятся к образцам 15х15х15 см, записываются в табл. и изображаются в графическом виде (табл. 12, рис.12).

Данные испытаний образцов (табл.12) свидетельствуют о непрерывном нарастании прочности бетонов с увеличением расхода цемента. Бетоны на затворителе плотностью 1,20 с расходами цемента, равными 350, 450 и 550 кг. на кубометр, показали прочности: 30,5; 45,1; 65,0 МПа, что отвечает маркам бетона 300, 450 и 600.

В составе 1 каждые 100 кг расхода цемента обеспечивают получение 9,57 МПа прочности ( на каждые 1 кг цемента 0,96 кгс/см<sup>2</sup>).

При увеличении расхода цемента в составе 2 против состава 1 прирост прочности возрос до 15 МПа на 100 кг добавленного цемента

и достиг 17,5 МПа на каждые 100 кг добавленного цемента в составе 3 (против состава 1 с расходом цемента 350 кг/м<sup>3</sup>).

Рассмотренное выше свидетельствует о повышении эффективности использования вяжущих свойств цемента при увеличении его расхода с 350 до 450 и 550 в 1,5 - 1,75 раза на каждые 100 кг добавленного цемента.

Бетоны, затворенные силикатом натрия плотностью 1,20 при пропаривании по обычному режиму набирают почти 100% марочной прочности за время пропаривания и не показывают дальнейшего нарастания прочности к 28-суточному возрасту (составы 1,2,3, табл. 12).

Бетоны 4,5,6, затворенные раствором силиката натрия плотностью 1,10 (с расходами цемента 350, 450 и 550 кг) после пропаривания имели прочность, равную 70-80% марочной, которая достигла 100% к 28 суткам дальнейшего твердения во влажных условиях.

Увеличение плотности затворителя с 1,10 до 1,20 для составов с расходами цемента, равными 350, 450 и 550 кг, сопровождается повышением их прочностных показателей в среднем на 38% (для составов соответственно 4,1; 5,2; 6,3).

Примерно такой же прирост прочностных показателей достигается при увеличении расхода цемента на 100 кг по отношению к исходным составам без повышения плотности затворителя.

Как следует из табл. 12 и рис. 12 бетон марки 400 может быть получен при применении затворителя плотностью 1,10; 1,15 и 1,20 г/мл. Расходы цемента для бетона марки 400 при затворителях плотностью 1,10; 1,15 и 1,20 соответственно составляют 500, 450 и 400 кг/м<sup>3</sup> (рис. 12, табл. 12).

Расход цемента 450 кг при плотности затворителя 1,15 найден способом интерполяции. Наиболее предпочтительным из трех является состав бетона с расходом цемента 450 кг/м<sup>3</sup> и затворителем плотностью 1,15 г/мл.

Бетоны с раствором силиката натрия плотностью 1,15 и выше в отличие от бетонов с другими целлюлозосодержащими затворителями являются быстросхватывающимися и быстротвердеющими, но требуют выдержки перед пропариванием, допускают высокие скорости подъема температуры, позволяют сократить время изотермической выдержки до 2-4 часов и уменьшения цикла пропаривания конструкций до 6-8 часов. Из подобранного состава с расходом цемента 450 кг на кубометр (состав 2, табл. 12) на затворителе плотностью 1,15 изготавливаются образцы для установления и контроля прочности бетона. При изготовлении контрольных образцов определяются осадка конуса и объемная масса бетонной смеси.

Осадка конуса бетонной смеси контрольного замеса равнялась 2,5 см, т.е. соответствовала заданной.

Объемная масса бетонной смеси контрольного замеса равнялась 2,415 т/м<sup>3</sup> вместо 2,45, приведенного в табл.12.

Прочность бетона контрольного замеса после пропаривания равнялась 31,5 МПа, а в возрасте 28 дней - 41,3 МПа.

По подвижности бетонной смеси и прочностным показателям образцов состав бетона с расходом цемента 441 кг на кубометр и затворителе плотностью 1,15 отвечает заданным требованиям и принимается для передачи в производство.

Изложенный способ подбора бетонов на шлакощелочных цементах опытным путем показал, что прочность бетона одинаковой подвижности определяется только расходом цемента.

Установленная зависимость прочности бетона от расхода цемента аналогична зависимости прочности бетона от цементно-водного, отношения и является частным случаем последней, отвечающим бетонам одинаковой подвижности.

## 9. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### Общие положения

9.1 Настоящие рекомендации распространяются на технологии производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций из тяжелых бетонов с применением шлакощелочных цемента и твердеющих как в естественных условиях, так и при тепловлажностной обработке, а также при тепловой обработке в продуктах сгорания природного газа (в экспериментальном порядке).

9.2. Производство бетонных и железобетонных конструкций с применением шлакощелочных цемента может осуществляться по поточно-агрегатной или конвейерной технологии.

9.3. Для производства изделий и конструкций на основе шлакощелочных цемента используется типовое оборудование заводов сборного железобетона. Дополнительные требования предъявляются при складировании и хранении щелочного компонента, а также при приготовлении на его основе щелочесодержащего затворителя.

9.4. Изделия и конструкции должны изготавливаться и удовлетворять требованиям ГОСТ 13015.0-83, ГОСТ 13015.1-81, ГОСТ 13015.2-81, ГОСТ 13015.3-81. Постановка продукции на серийное производство должна производиться в соответствии с ГОСТ 15.001-73 [80-85].

### Приготовление и укладка бетонной смеси, твердение бетона

9.5. При применении шлакощелочного цемента, получаемого затворением молотого шлака раствором щелочного компонента следует применять технологию, предусматривающую приготовление щелочесодержащего раствора, дозирование в бетономешалку молотого шлака и водного раствора щелочного компонента.

9.6. Технологические линии приготовления щелочесодержащего раствора должны включать оборудование, осуществляющее дробление,

дозировку щелочного компонента и воды, перемешивание и подогрев раствора в процессе растворения, хранение готового щелочесодержащего раствора и подачу его в расходный бак бетоносмесительного узла. Растворение силиката натрия производится острым паром во вращающихся автоклавах (силикатных барабанах) с давлением пара до 4 атм.

В расходных и смесительных емкостях, в трубопроводах при подаче раствора соды должна быть обеспечена положительная температура, необходимая для предотвращения кристаллизации карбоната натрия.

9.7. Приготовление бетонной смеси рекомендуется производить в бетономешалках принудительного действия.

Порядок дозирования и время перемешивания принимаются такими же, как и для бетона на клинкерных цементах.

Бетонную смесь на крупных заполнителях допускается перемешивать в бетономешалке свободного падения.

9.8. Температура бетонной смеси на выходе из бетономешалки должна быть не ниже  $15^{\circ}\text{C}$ ,

9.9. Транспортирование бетонной смеси в бетонораздатчик осуществляется аналогично смесям на клинкерных цементах по СНиП II-V. 11-71 и ГОСТ 7473-76 "Смеси бетонные. Технические условия".

9.10. Не допускается смешивание бетонной смеси на шлакощелочных цементах со смесями на других видах цемента, а также бетонирование и офактурование в процессе формирования изделий из шлакощелочных бетонных смесей бетонными смесями на других цементах.

При переводе технологической линии на производство шлакощелочных бетонов следует тщательно очистить технологическое оборудование от остатков бетона на портландцементе.

9.11. Подготовка форм (очистка, смазка, установка арматуры и закладных деталей) осуществляется обычными средствами и приемами, применяемыми на заводах сборного железобетона.

бетона. Для смазки форм применяют отработанные масла (автомобильные, солидол), эмульсии.

Допускается применение других веществ, которые можно использовать после их предварительного испытания.

9.12. Заполнение форм бетоном и уплотнение бетонной смеси на шлакощелочном цементе осуществляют способами, принятыми в технологии сборного железобетона.

9.13. Длительность уплотнения зависит от вида заполнителя и жесткости бетонной смеси и определяется по формуле

$$T = 2X \sqrt{\frac{K_c}{K_n}} \quad (77)$$

где  $X$  — жесткость бетонной смеси, с :

$K_c, K_n$  — интенсивность вибрирования соответственно стандартная и производственная.

9.14. Твердение шлакощелочного бетона может быть осуществлено :

в нормальных условиях при положительной температуре;

в условиях тепловлажностной обработки при  $80^\circ \dots 95^\circ \text{C}$ ;

в условиях прогрева продуктами сгорания природного газа или нагретого воздуха при  $110^\circ \dots 120^\circ \text{C}$  (в опытно-поисковом порядке).

9.15. Режимы тепловой обработки следует назначать для конкретных видов изделий с учетом их массивности, конфигурации, армирования по аналогии с бетонами на клинкерных цементах и проверять в производственных условиях. Рациональные режимы твердения должны обеспечить достижение бетоном через сутки после окончания обработки не менее 80% марочной прочности. Ориентировочные режимы тепловлажностной обработки приведены в табл. 13.

9.16. Тепловую обработку изделий на шлакокарбонатном цементе в воздушной среде рекомендуется производить в закрытых формах

или с укрытием открытых поверхностей водонепроницаемыми материалами. Изделия на шлакосиликатном цементе можно пропаривать без укрытия поверхности.

9.17. Требования к разности температур между температурой изделия и наружного воздуха при распаковке и установке изделий на склад готовой продукции аналогичны требованиям, предъявляемым к изделиям из бетона на клинкерных цементах.

9.18. Уход за бетоном, твердеющим в естественных условиях при положительной температуре, должен осуществляться по СНиП I-E.3-62 "Бетон на неорганических вяжущих и заполнителях".

#### Правила приемки и методы испытаний

9.19. Приемку и отпуск изделий производят партиями. Партией считают количество изделий одного типа, последовательно изготовляемых предприятием по одной технологии из материалов одного и того же вида, сорта и качества в течение не более 10 дней. Количество изделий в партии должно быть не более: при объеме одного изделия до  $0,1 \text{ м}^3$  - 1000 шт.,  $0,1-0,3 \text{ м}^3$  - 700 шт.,  $0,3-1 \text{ м}^3$  - 300 шт.,  $1-2 \text{ м}^3$  - 150 шт., свыше  $2 \text{ м}^3$  - 100 шт.

9.20. Маркировку и паспортизацию изделий производят в соответствии с ГОСТ 13015 - 81 с такими дополнениями: перед маркой изделия должно быть написано ШДБ (сокращенно от "шлакощелочной бетон").

Отгружаемые потребителю изделия должны быть приняты отделом технического контроля завода.

9.21. Проверку размеров, плоскостности и искривленности их поверхности, внешнего вида изделий и качества лицевых поверхностей, наличия монтажных петель, закладных деталей, отклонения установки закладных деталей, арматуры и толщины защитного слоя бетона, а также определение фактического веса изделия производят в соответствии с ГОСТ 13015 - 81.

9.22. Проверку прочности, морозостойкости и других физико-ме-

Таблица 13.

## Ориентировочные режимы тепловлажностной обработки

Условия тепловлажностной обработки	Температура обработки, °C	Режимы обработки, ч		
		подъем температуры	изотермическая выдержка	снижение температуры
В паровоздушной среде	95 ± 5	9	5	3
	85 ± 5	3	6	3
В продуктах сгорания природного газа или нагретого воздуха	115 ± 5	4	8	5

Примечания: 1. Предварительная выдержка изделий до тепловой обработки указывается в пределах 3-6 ч в зависимости от модуля поверхности; с увеличением модуля открытой поверхности выдержка увеличивается.

2. Подъем температуры должен составлять 20-30 °C в час.

3. Обработку в продуктах сгорания природного газа или нагретого воздуха производить в экспериментальном порядке.

технических свойств бетона производят в соответствии с требованиями технических условий на конкретный вид изделия и ГОСТ 10180-78, ГОСТ 10060-76, ГОСТ 12730.0-78 [41, 42, 48].

9.23. Оценка прочности, жесткости, трещиностойкости изделий следует производить в соответствии с ГОСТ 8829-77.

9.24. Испытание сварной арматуры (стыков) и закладных деталей производят по ГОСТ 10922-75.

9.25. Контроль плотности бетона производят по ГОСТ 12730.

9.26. Предприятие-изготовитель при отпуске изделий с прочностью бетона ниже его проектной марки по ГОСТ 13015-81 обязан гарантировать достижение марочной прочности к сроку, указанному в технических условиях на конкретный вид изделий.

9.27. Предприятие-изготовитель должно сопровождать каждую партию изделий паспортом в соответствии с ГОСТ 13015-81 и настоящими Рекомендациями.

9.28. Транспортирование и хранение готовых изделий следует производить в соответствии с ГОСТ 13015-81.

## 10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

10.1. При производстве бетонных и железобетонных изделий на основе шлакоцеолочного цемента следует соблюдать все требования техники безопасности, установленные едиными правилами техники безопасности и производственной санитарии для предприятий промышленности строительных материалов и на заводах и заводских полигонах железобетонных изделий [6, 8, 9].

10.2. Все работы, связанные с приемкой, растворением и применением щелочесодержащих компонентов, должны производиться специально организованным персоналом, имеющим защитные очки, резиновые рукавицы, сапоги и прорезиненные фартуки. Персонал, занятый подачей, складированием и дозированием щелочесодержащего

компонента в виде сухого материала, должен быть дополнительно обеспечен респираторами типа Р-46 или Р-2.

10.3. Следует избегать попадания щелочи, карбоната натрия и их растворов на кожу, глаза и пищу.

10.4. В местах растворения щелочесодержащих компонентов и на емкостях со щелочными растворами должны быть предупреждающие надписи: "Осторожно! Щелочь!".

10.5. При применении тепловой обработки изделий в продуктах сгорания природного газа необходимо соблюдать правила и требования, предусмотренные инструкцией ВСН-2-97-77 (п.7.5) и СНиП Ш-4-80 [115, 6].

10.6. Складирование, транспортировку и строительно-монтажные работы следует производить с соблюдением требований СНиП Ш-4-80 "Правила производства и приемки работ. Техника безопасности в строительстве" [6].

## ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Усилия от внешних нагрузок и воздействий в поперечном сечении элемента.

$M$  - изгибающий момент;

$N, Q$  - продольная и поперечная сила;

$M_k$  - крутящий момент;

$M_{кр}, M_{дл}, M_{п.}$  - изгибающие моменты соответственно от кратковременных постоянных, от длительных и от полной нагрузок при расчете по прочности при  $n > 1$ , в остальных случаях при  $n = 1$ .

$T, S$  - сдвигающие усилия по контакту арматуры с бетоном.

Характеристики предварительно-напряженного элемента

$N_{нк}, N_{нк}'$  - начальное контролируемое усилие предварительного обжатия, соответственно в напрягаемой арматуре  $A$  и  $A'$  до обжатия бетона;

$N_{01}, N_0$  - то же, с учетом собственно первых и суммарных потерь напряжений;

$\sigma_{нк}, \sigma_{нк}'$  - начальные контролируемые предварительные напряжения соответственно в напрягаемой арматуре  $A$  и  $A'$  до обжатия бетона, до появления потерь напряжений;

$\sigma_{01}, \sigma_0$  - предварительные напряжения с учетом соответственно первых и суммарных потерь;

$\sigma_{нк}, \sigma_{нк}'$  - установившиеся напряжения соответственно в напрягаемой арматуре  $A$  и  $A'$ ;

$\sigma_{0н}$  - сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия с учетом потерь предварительного напряжения в арматуре, соответствующих рассматриваемой стадии работы элементов;

$\sigma_{л}, \sigma_{н}$  - потери предварительного напряжения в напрягаемой арматуре;

$m_r$  - коэффициент точности натяжения арматуры.

#### Характеристики материалов

$R_{пр} \cdot R_{прII}$  - расчетные сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний соответственно первой и второй группы;

$R_{р} \cdot R_{рII}$  - то же, осевому растяжению;

$R_0$  - передаточная прочность бетона;

$R_a$  - расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельных состояний первой группы как для продольной, так и для поперечной при расчете на действие изгибающего момента;

$R_{ax}$  - то же, поперечной арматуры при расчете на действие поперечной силы;

$R_{ac}$  - то же, арматуры сжатия для предельных состояний первой группы;

$R_{aII}$  - то же, арматуры растяжению для предельных состояний второй группы;

$R_{сц} \cdot R_{сцII}$  - то же, сцепления бетона с арматурной сталью гладкого профиля;

$E_0$  - начальный модуль упругости бетона;

$E_a$  - модуль упругости арматуры;

$n \cdot n_a$  - отношение модулей упругости арматуры  $E_n$ ,  $E_a$  и бетона  $E_0$ ;

$K_{Ic}$  - критическое значение коэффициента интенсивности напряжений для бетона при нормальном перемещении.

#### Геометрические характеристики

$b$  - ширина прямоугольного сечения; то же, ребра таврового и двутаврового сечений;

$b_n, b_n'$  - ширина полки таврового и двутаврового сечений соответственно в растянутой и сжатой зонах;

$h$  - высота прямоугольного, таврового и двутаврового сечений;

$h_n, h_n'$  - высота полки таврового и двутаврового сечения соответственно в растянутой и сжатой зонах;

- $D$  - диаметр кольцевого или круглого сечений;
- $A$  - обобщенное понятие продольной арматуры, расположенной в растянутой, более растянутой или слабосжатой зонах;
- $A'$  - то же, в сжатой, более сжатой или менее растянутой зонах;
- $F_a, F_a'$  - площади сечения обычной продольной арматуры  $A$  и  $A'$ ;
- $F_n, F_n'$  - то же, напрягаемой;
- $F_x$  - суммарная площадь сечения хомутов, расположенных в одной нормальной к продольной оси элемента плоскости, пересекающей наклонное сечение;
- $F_n$  - то же, отогнутых стержней;
- $f_a$  - площадь сечения одного стержня продольной арматуры;
- $f_x$  - то же, поперечной арматуры (одного стержня хомута);
- $F$  - площадь поперечного сечения бетона;
- $F_{0n}$  - площадь приведенного сечения элемента, определяемая с учетом всей продольной арматуры;
- $J_b$  - момент инерции сечения бетона относительно центра тяжести сечения элемента;
- $J_{0n}$  - то же, приведенного сечения элемента;
- $\alpha, \alpha'$  - расчетный защитный слой бетона соответственно для арматуры  $A$  и  $A'$ , т.е. расстояние от равнодействующих усилий в арматуре  $A$  и  $A'$  до ближайшей грани сечения;
- $\alpha_a, \alpha_a', \alpha_n, \alpha_n'$  - то же, для соответствующих видов продольной арматуры
- $$F_a \cdot F_a', F_n, F_n'$$
- $h_0$  - рабочая высота сечения, равная  $h_0 = h - \alpha$ ;
- $x$  - высота сжатой зоны бетона;
- $\xi$  - относительная высота сжатой зоны бетона, равная  $\xi = \frac{x}{h_0}$ ;
- $u_x, u_0$  - расстояние соответственно между хомутами и отгибами, измеряемое по длине элемента;
- $e_0$  - эксцентриситет продольной силы предварительного обжатия относительно центра тяжести приведенного сечения;

- $C_0$  - то же, для продольной силы внецентренно-сжатых (растянутых) элементов;
- $e_{0c}$  - то же, равнодействующей продольной силы  $N$  и усилия предварительного обжатия  $N_0$  относительно центра тяжести приведенного сечения;
- $e, e'$  - расстояние от точки приложения продольной силы  $N$  до равнодействующей усилий соответственно в арматуре  $A$  и  $A'$ ;
- $e_N, e'_N$  - расстояние от точки приложения продольной силы  $N$  и усилия предварительного обжатия  $N_0$  до центра тяжести площади сечения арматуры  $A$ ;
- $l$  - пролет элемента;
- $l_0$  - расчетная длина элемента, подвергающегося действию сжимающей продольной силы;
- $r$  - радиус инерции поперечного сечения элемента относительно центра его тяжести;
- $d$  - номинальный диаметр стержней арматурной стали;
- $\mu_a, \mu_n$  - коэффициент армирования:

Приложение 2  
ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ

2.1. Предельные значения удельных деформаций и характеристик ползучести, усадки бетона следует определять в зависимости от различных факторов для реальных условий эксплуатации по формулам:

$$\begin{cases} \sigma_m^N \approx \sigma_m^N \cdot K_1^i \cdot K_2^i \cdot K_4^i \cdot K_{0u} ; \\ \varphi_m^N \approx \varphi_m^N \cdot K_1^i \cdot K_2^i \cdot K_4^i \cdot K_{0u} ; \\ \epsilon_{m\gamma}^N \approx \epsilon_{m\gamma}^N \cdot K_1^i \cdot K_2^i \cdot K_3^i \cdot K_4^i \cdot K_{0u} , \end{cases} \quad (2.1)$$

где  $\sigma_m^N$ ,  $\varphi_m^N$ ,  $\epsilon_{m\gamma}^N$  - предельные нормативные средние значения удельных деформаций, характеристик ползучести и усадки бетона, принимаемые по табл. 2.1;

$K_1^i$ ,  $K_2^i$ ,  $K_3^i$ ,  $K_4^i$ ,  $K_{0u}$  - корректирующие коэффициенты, учитывающие соответственно для ползучести (усадки) возраст ( $\tau$ ) бетона в момент загрузки (длительность влажного хранения для усадки), открытую удельную поверхность  $M_0$ , относительную влажность в %, температуру среды и вид щелочного компонента, которые принимаются по табл. 2.2. и табл. 2. *стр. 19*;

$M_0$  - модуль открытой поверхности - отношение площади поверхности, свободной для испарения влаги из бетона, к его объему (имеет размерность, см<sup>-1</sup>).

Для стержневых элементов прямоугольного сечения определяется по формуле

$$M_0 = \frac{2(b+h)}{\delta h} , \quad (2.2)$$

где  $b$ ,  $h$  - соответственно ширина и высота прямоугольного сечения, см;

$\phi$  - относительная влажность воздуха окружающей среды, % , которую следует определять согласно указанию п. 1.3 главы СНиП [1] .

При наличии данных о составе бетона и условиях изготовления и хранения конструкций допускается принимать другие значения указан-

Таблица 2.1. Средние упруго-пластические характеристики шлакощелочных бетонов

Марка бетона	Значения характеристики шлакощелочного бетона при заполнителе									
	м е л к о м					м о л о т о м и к р у п н о м				
	$E_{ст}^H \cdot 10^5$	$\gamma_0$	$\varphi_m^H$	$\sigma_m^H \cdot 10^6, \text{МПа}$	$\gamma_t$	$E_{ст}^H \cdot 10^5$	$\gamma_0$	$\varphi_m^H$	$\sigma_m^H \cdot 10^6, \text{МПа}$	$\gamma_t$
100	32,5	0,7	8,4	86	0,1	27,5	0,75	7	47	0,35
200	35	0,71	7,8	50	0,105	30	0,77	6;5	32	0,13
300	37,5	0,72	7,2	35	0,11	32,5	0,79	6	23	0,14
400	40	0,73	6,6	27	0,115	35	0,81	5,5	19	0,15
500	42,5	0,74	6,0	23	0,125	37,5	0,83	5	16	0,17
600	45	0,75	5,4	20	0,13	40	0,84	4,5	14	0,18
700	48	0,76	4,6	17	0,14	43	0,85	3,9	12	0,2
800	50	0,77	4,2	15	0,15	45	0,86	3,5	10	0,22

Примечание. Для бетонов естественного твердения следует вводить коэффициент 1,3.

Таблица 2.2. Значения корректирующих коэффициентов для усадки и ползучести влакоцементных бетонов.

Факторы коэффициенты	Значения коэффициентов от возраста бетона при загрузке, длительности хранения, сут., открытой поверхности $M_0, \text{см}^{-1}$ , влажности и температуры среды							
1. Возраст бетона в момент загрузки $t$ , сут.	5	7	15	28	60	90	180 и более	
Ползучесть $K_1^H$	1,3	1,25	1,15	1	0,77	0,7	0,61	
2. Длительность влажного хранения, $t$ , сут.	1	7	14	28	60	180	350 и более	
Усадка $K_1^y$	1,105	1,053	1,03	1	0,98	0,96	0,95	
3. Модуль открытой удельной поверхности $M_0, \text{см}^{-1}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8 и более	
Ползучесть $K_2^H$	0,8	0,85	1,0	1,15	1,24	1,3	1,45	
Усадка $K_2^y$	0,35	0,76	0,87	0,9	1,0	1,05	1,1	
4. Относительная влажность среды, $\theta$ , %	40	50	60	70	80	90	100	
Ползучесть $K_{03}^H$	Принимается по табл. 2							
Усадка $K_3^y$	1,48	1,31	1,15	1,0	0,84	0,64	0,35	
5. Температура среды, $T^{\circ}\text{C}$	10	20	25	30	35	40	50	
Ползучесть $K_4^H$	0,8	1,0	1,11	1,22	1,33	1,44		
Усадка $K_4^y$	1,0	1,0	1,0	1,1	1,15	1,25		

ных характеристик, согласованные в установленном порядке.

При определении потерь от ползучести бетона с учетом продолжительности действия нагрузки  $\Delta t$  следует определять по формуле

$$\psi_t = \psi_m \cdot K_n \cdot \beta_n, \quad (2.3)$$

где  $\psi_m$  — предельное значение характеристики ползучести бетона, определяемое по формуле (2.1);

$K_n$  — коэффициент нелинейности, принимаемый по табл. 2.3;

$\beta_n$  — коэффициент, учитывающий продолжительность действия напряжений  $\sigma_{sn}$ , определяемый по формуле

$$\beta_n = 1 - e^{-0,002 \Delta t}; \quad (2.4)$$

$\Delta t$  — время в сутках от момента обжатия бетона до загрузки конструкций эксплуатационной нагрузкой. Если срок загрузки или испытания конструкций неизвестен, то величину следует определять при  $t = 100$  суток.

Значения  $1 - e^{-\alpha}$  принимаются по табл. 2.4.

В табл. 2.5 приведены предельные деформации шлакощелочных бетонов при сжатии и растяжении.

В табл. 2.6 даны рекомендуемые классы арматурных сталей для обычных ( без предварительного напряжения ) железобетонных конструкций по предельной сжимаемости ШББ.

Таблица 2.3. Значения коэффициента нелинейности  $K_N$  в зависимости от степени обжатия  $\eta_{BN} = \sigma_{BN} / R_{пр}$

Вид щелочного компонента	Степень обжатия бетона $\eta_{BN} = \sigma_{BN} / R_{пр}$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	и более
1. Кальцинированная сода	0,83	0,9	0,92	0,95	1,0	1,20	1,45	1,8	
2. Метасиликат натрия, жидкое стекло	0,6	0,68	0,75	0,86	1,0	1,15	1,35	1,6	
3. Прочие	0,7	0,8	0,85	0,9	1,0	1,18	1,4	1,7	

Таблица 2.4. Значения  $1 - e^{-\alpha}$

Значения  $\alpha = Kx + \mu\theta$ ;  $1 - e^{-\alpha}$ ;  $\theta$  - угол в радианах

$\alpha$	$1 - e^{-\alpha}$	$\alpha$	$1 - e^{-\alpha}$	$\alpha$	$1 - e^{-\alpha}$
0,00	0,000	0,40	0,330	0,80	0,551
0,05	0,049	0,45	0,362	0,85	0,573
0,10	0,095	0,50	0,393	0,90	0,593
0,15	0,139	0,55	0,423	0,95	0,613
0,20	0,181	0,60	0,451	1,00	0,623
0,25	0,221	0,65	0,478	1,05	0,650
0,30	0,259	0,70	0,503	-	-
0,35	0,299	0,75	0,528	-	-

Таблица 2.5. Предельные расчетные деформации  
влажносточных бетонов

Проектная марка бетона М	Значения предельной деформации бетона $\epsilon_{\text{пред}} \cdot 10^{-5}$ при заливочном			
	только мялкой при		мялкой и крутином при	
	сжатии	растяжении	сжатии	растяжении
100	260	20	206	15
150	265	10	210	15
200	270	21	215	16
250	280	21	220	16
300	285	22	230	17
350	295	22	235	17
400	300	23	240	18
450	305	23	245	18
500	310	24	250	19
600	320	25	260	20
700	330	26	270	21
800	340	27	280	22

Таблица 2.6. Рекомендуемые классы арматурной стали для проектных марок бетона обычных (без предварительного напряжения) железобетонных конструкций

Рекомендуемые классы арматур	Проектные марки для бетона		Примечание
	крупнозернистого	мелкозернистого	
A-III	M 400 и ниже	M 300 и ниже	Для скатой и растянутой арматуры сварных арматурных изделий
A-IV A <sub>T</sub> -IV	M 450 - M 600	M 350 - M 600	
A-V A <sub>T</sub> -V	M 600 и выше	M 600 и выше	Для скатой арматуры элементов в вязаных арматурных изделиях

Примечание. Классы арматурной стали рекомендуются из условия предельной сжимаемости (растяжимости) бетона (см. табл. 2.5).

Приложение 3.

РАСЧЕТНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Таблица 3.1. Значения коэффициентов  $\xi$ ,  $\nu$  и  $A_0$ .

$\xi$	$\nu$	$A_0$	$\xi$	$\nu$	$A_0$	$\xi$	$\nu$	$A_0$
0,01	0,996	0,01	0,31	0,876	0,272	0,61	0,756	0,461
0,02	0,992	0,02	0,32	0,872	0,279	0,62	0,752	0,466
0,03	0,988	0,03	0,33	0,868	0,288	0,63	0,748	0,471
0,04	0,984	0,039	0,34	0,864	0,294	0,64	0,744	0,476
0,05	0,98	0,049	0,35	0,86	0,301	0,65	0,74	0,481
0,06	0,976	0,058	0,36	0,856	0,308	0,66	0,736	0,486
0,07	0,972	0,068	0,37	0,852	0,315	0,67	0,732	0,49
0,08	0,968	0,077	0,38	0,848	0,322	0,68	0,728	0,495
0,09	0,964	0,087	0,39	0,844	0,329	0,69	0,724	0,5
0,1	0,96	0,096	0,40	0,84	0,336	0,70	0,72	0,504
0,11	0,956	0,105	0,41	0,836	0,343	0,71	0,716	0,508
0,12	0,952	0,114	0,42	0,832	0,349	0,72	0,712	0,513
0,13	0,948	0,123	0,43	0,828	0,356	0,73	0,708	0,517
0,14	0,944	0,132	0,44	0,824	0,363	0,74	0,704	0,521
0,15	0,94	0,141	0,45	0,82	0,369	0,75	0,7	0,525
0,16	0,936	0,150	0,46	0,815	0,375	0,76	0,696	0,529
0,17	0,932	0,158	0,47	0,812	0,382	0,77	0,692	0,533
0,18	0,928	0,167	0,48	0,808	0,388	0,78	0,688	0,537
0,19	0,924	0,175	0,49	0,804	0,394	0,79	0,684	0,541
0,2	0,92	0,184	0,50	0,8	0,4	0,80	0,68	0,544
0,21	0,916	0,192	0,51	0,796	0,406	0,81	0,672	0,551
0,22	0,912	0,2	0,52	0,792	0,411	0,82	0,664	0,558
0,23	0,908	0,209	0,53	0,788	0,418	0,83	0,656	0,564
0,24	0,904	0,217	0,54	0,784	0,423	0,84	0,648	0,57
0,25	0,9	0,225	0,55	0,78	0,429	0,85	0,64	0,576
0,26	0,896	0,233	0,56	0,776	0,435	0,86	0,632	0,58
0,27	0,892	0,241	0,57	0,772	0,44	0,87	0,624	0,587
0,28	0,888	0,249	0,58	0,768	0,445	0,88	0,616	0,591
0,29	0,884	0,256	0,59	0,764	0,451	0,89	0,608	0,596
0,30	0,88	0,264	0,60	0,76	0,456	0,90	0,6	0,6

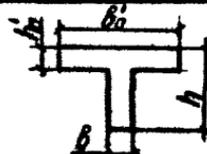
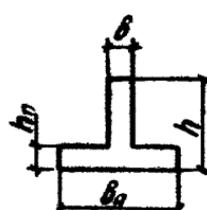
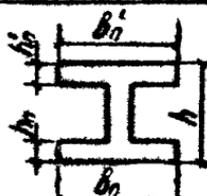
Таблица 3.2. Значения  $\xi_0$  и  $\xi_R$  для элементов конструкций с обычной ( без предварительного напряжения ) арматурой

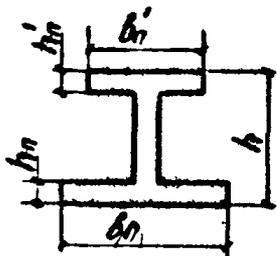
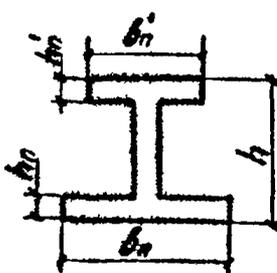
Проектная марка бетона М	Значения $\xi_0$	Значения $R_{ac}$ и $\xi_R$ для бетона и арматурной стали класса											
		А-I		А-II		А-III		А-IV		А <sub>T</sub> -IV		А-V, А <sub>T</sub> -V	
		$R_{ac}$ , МПа	$\xi_R$	$R_{ac}$ , МПа	$\xi_R$	$R_{ac}$ , МПа	$\xi_R$	$R_{ac}$ , МПа	$\xi_R$	$R_{ac}$ , МПа	$\xi_R$	$R_{ac}$ , МПа	$\xi_R$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Для мелкозернистых шлакощелочных бетонов											
100	0,82	210	0,654	270	0,654	340	0,654	500	0,654	490	0,652	490	0,616
150	0,804	210	0,634	270	0,634	340	0,634	500	0,634	500	0,634	500	0,6
200	0,789	210	0,615	270	0,615	340	0,615	500	0,615	500	0,615	510	0,583
250	0,774	210	0,597	270	0,597	340	0,597	500	0,597	500	0,597	530	0,57
300	0,758	210	0,578	270	0,578	340	0,578	500	0,578	500	0,578	540	0,554
350	0,744	210	0,562	270	0,562	340	0,562	500	0,562	500	0,562	560	0,543
400	0,73	210	0,546	270	0,546	340	0,546	500	0,546	500	0,546	570	0,53
450	0,714	210	0,529	270	0,529	340	0,529	500	0,529	500	0,529	580	0,515
500	0,7	210	0,51	270	0,51	340	0,51	500	0,51	500	0,51	590	0,5
600	0,666	210	0,478	270	0,478	340	0,478	500	0,478	500	0,478	610	0,47

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
700	0,638	210	0,45	270	0,45	340	0,45	500	0,45	500	0,45	630	0,447
800	0,61	210	0,422	270	0,422	340	0,422	500	0,422	500	0,422	640	0,422
Для крупнозернистых плавоцементных бетонов													
100	0,87	210	0,72	270	0,72	340	0,72	410	0,893	390	0,686	390	0,648
150	0,854	210	0,7	270	0,7	340	0,7	420	0,674	400	0,667	400	0,63
200	0,84	210	0,678	270	0,678	340	0,678	430	0,658	410	0,65	410	0,612
250	0,824	210	0,658	270	0,658	340	0,658	440	0,64	415	0,634	415	0,595
300	0,808	210	0,64	270	0,64	340	0,64	460	0,627	435	0,62	435	0,582
350	0,794	210	0,62	270	0,62	340	0,62	470	0,613	445	0,606	445	0,568
400	0,78	210	0,604	270	0,604	340	0,604	480	0,6	455	0,59	455	0,554
450	0,764	210	0,585	270	0,585	340	0,585	490	0,582	465	0,575	465	0,538
500	0,748	210	0,567	270	0,567	340	0,567	500	0,567	475	0,56	475	0,523
600	0,716	210	0,53	270	0,53	340	0,53	500	0,53	490	0,55	490	0,493
700	0,688	210	0,5	270	0,5	340	0,5	500	0,5	500	0,5	510	0,47
800	0,66	210	0,47	270	0,47	340	0,47	500	0,47	500	0,47	530	0,446

Таблица 3.3. Значение коэффициента  $\gamma$  для различных форм поперечного сечения

№ п/п	Сечения	Коэффициент $\gamma$	Форма поперечного сечения
1	2	3	4
1.	Прямоугольное	1,75	
2.	Тавровое с полкой, расположенной в сжатой зоне	1,75	
3.	Тавровое с полкой (уширением), расположенной в растянутой зоне:		в)
	а) при $b_n/b \leq 2$ независимо от отношения $h_n/h$	1,75	
	б) при $b_n/b > 2$ и $h_n/h \geq 0,2$	1,75	
	в) при $b_n/b > 2$ и $h_n/h < 0,2$	1,5	
4.	Двутавровое сечение симметричное (коробчатое):		
	а) при $b_n'/b = b_n/b \leq 2$ независимо от отношений $h_n'/h = h_n/h$	1,75	 $b_n' = b_n ; h_n' = h_n$

1	2	3	4
	<p>б) при <math>2 &lt; b'_n/b =</math>  <math>= b_n/b \leq 6</math> независимо  от отношения <math>h'_n/h =</math>  <math>= h_n/h</math></p> <p>в) при <math>b'_n/b = b_n/b &gt; 6</math> и  <math>h'_n/h = h_n/h \geq 0,2</math></p> <p>г) при <math>6 &lt; b'_n/b = b_n/b &gt; 15</math>  и <math>h'_n/h = h_n/h &lt; 0,2</math></p> <p>д) при <math>b'_n/b = b_n/b &gt; 15</math> и  <math>h'_n/h = h_n/h &lt; 0,1</math></p>	<p>1,5</p> <p>1,5</p> <p>1,25</p> <p>1,1</p>	
5.	<p>Двутавровое несимметрич-  ное, удовлетворяющее ус-  ловию <math>b'_n/b \leq 3</math></p> <p>а) при <math>b_n/b \leq 2</math> независимо  от отношения <math>h_n/h</math></p> <p>б) при <math>2 &lt; b_n/b \leq 6</math> неза-  висимо от отношения <math>h_n/h</math></p> <p>в) при <math>b_n/b &gt; 6</math> и <math>h_n/h &gt; 0,1</math></p>	<p>1,75</p> <p>1,5</p> <p>1,5</p>	
6.	<p>Двутавровое несимметрич-  ное, удовлетворяющее ус-  ловию <math>3 &lt; b'_n/b &lt; 8</math>:</p> <p>а) при <math>b_n/b \leq 4</math> независимо от  отношения <math>h_n/h</math></p> <p>б) при <math>b_n/b &gt; 4</math> и  <math>h_n/h \geq 0,2</math></p> <p>в) при <math>b_n/b &gt; 4</math> и  <math>h_n/h &lt; 0,2</math></p>	<p>1,5</p> <p>1,5</p> <p>1,25</p>	

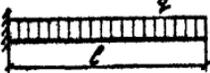
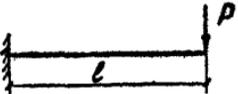
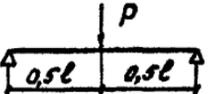
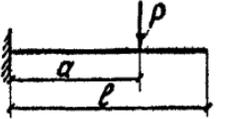
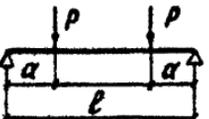
Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4
7.	Двутавровое несимметричное, удовлетворяющее условию $b_n'/b \geq 8$ : а) при $h_n/h > 0,3$ б) при $h_n/h \leq 0,3$	 1,5 1,25	
8.	Кольцевое и круглое	$2,0 + \frac{2r}{D}$	
9.	Крестовое: а) при $b_n/b \geq 2$ и $0,9 \geq h_n'/h > 0,2$ б) в остальных случаях	 2 1,75	

Примечания. 1. В табл. 7 обозначения  $b_n$  и  $h_n$  соответствуют размерам полки, которая при расчете по образованию трещин является растянутой, а  $b_n'$  и  $h_n'$  - размерам полки, которая для этого случая является сжатой;

2.  $W_0$  - момент сопротивления для растянутой грани приведенного сечения, определяемый по правилам сопротивления упругих материалов  $W_r = \gamma W_0$ .

Таблица 3.4. Значение коэффициента  $S$  при различных схемах опирания и загрузки балки

Схема загрузки консольной балки	Коэффициент	Схема загрузки свободно опертой балки	Коэффициент
а) 	$\frac{1}{4}$	г) 	$\frac{5}{48}$
б) 	$\frac{1}{3}$	д) 	$\frac{1}{12}$
в) 	$\frac{a}{6l} (3 - \frac{a}{l})$ $f = \frac{1}{P} sl^2$	е) 	$\frac{1}{8} - \frac{a^2}{6l^2}$

Примечание. При загрузке элемента одновременно по нескольким схемам, представленным в табл.3.4, коэффициент  $S$  равен:

$$S = \frac{S_1 M_1 + S_2 M_2 + \dots}{M_1 + M_2 + \dots}$$
, где  $S_i$  и  $M_i$ ,  $S_2$  и  $M_2$  и т.д. - соответственно коэффициент  $S$  и наибольший изгибающий момент для каждой схемы загрузки. В этом случае в формуле прогиба  $f$  величина  $\frac{1}{P}$  определяется при значении  $M$ , равном сумме наибольших изгибающих моментов, определенных для каждой схемы загрузки.

Приложение 4  
ПЛОТНОСТЬ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЩЕЛОЧЕСОДЕРЖАЮЩИХ СОЛЕЙ

Таблица 4.1

Плотность водных растворов силиката  
натрия

Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>	Содержание		Модуль жидкого стекла
	на 1 кг раствора	на 1 кг раствора	
1	2	3	4
1,0061	16,9	170,0	
1,0584	50,3	53,23	
1,1069	106,9	118,2	
1,1673	159,3	185,9	
1,2970	268,4	348,1	1,69
1,3705	318,6	436,4	
1,4037	344,0	483,1	
1,4414	368,7	532,3	
1,0829	89,7	97,2	
1,1328	135,0	146,3	
1,1789	181,8	214,4	
1,2664	252,9	320,1	
1,3028	281,4	366,9	
1,3426	315,9	412,0	
1,3653	333,6	455,1	2,06
1,3849	346,5	479,9	
1,4023	360,3	505,3	
1,4188	372,9	528,9	
1,4428	386,7	558,0	
1,6219	516,0	837,0	
1,6821	552,6	929,5	
1,0147	17,3	17,6	
1,0313	34,4	35,5	2,40
1,0935	100,8	110,3	
1,1600	166,5	193,2	
1,2866	279,3	359,4	
1,3266	311,7	413,4	
1,3783	343,7	473,4	
1,3969	364,6	509,3	2,44
1,4230	384,0	546,2	
1,4529	403,7	586,8	
1,1882	172,3	204,7	2,8

Таблица 4.2

Плотность водных растворов углекислого  
натрия (сода) при 15°C

Плотность раствора $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	С о д е р ж а н и е, г		Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	С о д е р ж а н и е, г	
	на 1 л рас- твора	на 1 кг раствора		на 1 л рас- твора	на 1 кг раствора
1,007	6,8	6,7	1,083	85,8	78,8
1,014	13,5	13,3	1,091	94,0	86,2
1,022	21,4	20,9	1,100	103,7	94,3
1,029	28,4	27,6	1,108	112,9	101,9
1,036	35,5	34,3	1,116	122,2	109,5
1,045	44,8	42,9	1,125	132,9	118,1
1,052	52,0	49,4	1,134	143,0	126,1
1,060	60,5	57,1	1,142	150,3	131,6
1,067	68,0	63,7	1,152	164,1	142,4
1,075	76,5	71,2			

Примечания: 1. Предельная растворимость  $Na_2CO_3$  в воде при температуре 15°C - 142, при 20°C - 177, при 25°C - 226 и 30°C - 278 г/кг.

2. Зависимость плотности раствора соды (г/см<sup>3</sup>) от концентрации  $d$  (г/кг) раствора выражается уравнением:

$$\rho = 1,10 + \frac{d - 94}{940} .$$

Таблица 4.3

Плотность водных растворов поташа при 15°C

Плотность раствора $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Содержание $K_2CO_3$ , г		Плотность раствора $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Содержание $K_2CO_3$ , г	
	на 1 л рас- твора	на 1 кг раствора		на 1 л рас- твора	на 1 кг раствора
1,007	8,6	8,5	1,230	290	236
1,014	16	15,7	1,241	305	246
1,021	25	24	1,252	322	257
1,029	34	33	1,268	336	266
1,036	43	41	1,277	352	276
1,043	50	48	1,285	368	286
1,051	60	57	1,297	385	297
1,059	69	65	1,308	402	307
1,067	78	73	1,320	418	317
1,075	82	80	1,332	437	328
1,083	97	90	1,345	456	339
1,091	108	99	1,358	477	351
1,099	118	107	1,370	495	361
1,107	128	116	1,384	515	373
1,116	140	125	1,397	536	384
1,125	151	134	1,411	557	395
1,134	162	143	1,414	560	400
1,143	174	152	1,425	580	407
1,152	185	161	1,439	602	418
1,161	199	171	1,453	623	429
1,170	209	179	1,468	649	442
1,180	222	188	1,483	673	454
1,190	236	198	1,498	697	465
1,200	250	208	1,514	724	478
1,210	263	217	1,530	750	490
1,220	277	227	1,547	778	503

Таблица 6.4

Плотность водных растворов сододелочного плава  
при 20°C

Плотность раствора, $\rho$ , г/м <sup>3</sup>	Содержание безводного сододелочного плава, г		Плотность раствора $\rho$ , г/м <sup>3</sup>	Содержание безводного сододелочного плава, г	
	на 1 л раствора	на 1 кг раствора		на 1 л раствора	на 1 кг раствора
1061	63	60	1192	214	180
1060	86	80	1212	242	200
1099	110	100	1240	273	220
1128	135	120	1262	303	240
1146	160	140	1273	318	250
1155	174	150	1284	334	260
1165	186	160	-	-	-

Таблица 4.5

Плотность водных растворов  
содопоташной смеси при 20°C

Плотность раствора $\rho$ , г/м <sup>3</sup>	Содержание безводной содопоташной смеси, г		Плотность раствора $\rho$ , г/м <sup>3</sup>	Содержание безводной содопоташной смеси, г	
	на 1 л раствора	на 1 кг раствора		на 1 л раствора	на 1 кг раствора
1055	63	60	1165	233	200
1059	85	80	1181	261	220
1077	107	100	1202	288	240
1094	131	120	1210	300	250
1111	155	140	1218	317	260
1117	168	150	1238	346	280
1128	180	160	-	-	-
1145	206	180	-	-	-

ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, ЛИТЕРАТУРА.

СНиП

1. СНиП П-21-75. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования.
2. СНиП 3.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.
3. СНиП П-15-74. Основания зданий и сооружений.
4. СНиП I-B. 2-69. Вязкие материалы и неорганические добавки для бетонов и растворов.
5. СНиП П-6-74. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования.
6. СНиП II-4-80. Правила производства и приемки работ. Техника безопасности в строительстве.
7. СН 393-78. Инструкция по сварке соединений арматуры и закладных деталей железобетонных конструкций.
8. Единые правила техники безопасности и производственной санитарии для предприятий промышленности строительных материалов. Часть I. М.: Стройиздат, 1969.
9. Правила техники безопасности и производственной санитарии на заводах и заводских цехах железобетонных изделий. Часть II, раздел XII. М.: Стройиздат, 1971.

РУКОВОДСТВА

10. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). ЦНИИПромзданий, НИИМБ Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1977.
11. Руководство по проектированию предварительно-напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона. ЦНИИПромзданий, НИИМБ Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1977.
12. Рекомендации по расчету конструкций из шлакощелочных бетонов. НИИМБ Госстроя СССР. М., 1963.

13. Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). Лен.Промстройпроект, ЦНИИПромзданий, НИИЖБ Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1978.
14. Руководство по формированию железобетонных изделий. НИИЖБ Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1977.
15. Руководство по тепловой обработке бетонных и железобетонных изделий. НИИЖБ Госстроя СССР, ВНИИЖелезобетон МПСМ СССР. М., Стройиздат, 1974.
16. Руководство по технологии изготовления предварительно-напряженных железобетонных конструкций. НИИЖБ Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1975.
17. Руководство по производству бетонных работ. ЦНИИСПП, НИИЖБ Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1975.
18. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. НИИЖБ Госстроя СССР. М., 1979 .

#### ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ

##### Цементы

19. ГОСТ 310-60. Цементы. Методы физических и механических испытаний.
20. ГОСТ 310-I-76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
21. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола.
22. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты сроков схватывания и равномерности изменения объема.
23. ГОСТ 310.4-76. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
24. ГОСТ 10178-76. Портландцемент и шлакпортландцемент. Технические условия.
25. ГОСТ 11052-74. Цемент гипсоглиноземистый расширяющийся.
26. ГОСТ 22266-76. Цементы сульфатостойкие. Технические условия.

27. ГОСТ 22236-76. Цементы. Правила приемки.
28. ГОСТ 22237-76. Цементы. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение.

#### Заполнители

29. ГОСТ 8736-77. Песок для строительных работ. Технические условия.
30. ГОСТ 8268-82 . Гравий для строительных работ. Технические условия.
31. ГОСТ 5578-76. Щебень из доменного шлака для бетона. Технические условия.
32. ГОСТ 8267-82. Щебень из природного камня для строительных работ.
33. ГОСТ 10260-82. Щебень из гравия для строительных работ. Технические условия.
34. ГОСТ 23254-78. Щебень для строительных работ из попутно добываемых пород и отходов горнообогатительных предприятий. Технические условия.
35. ГОСТ 23845-79. Сырье для производства щебня из естественного камня для строительных работ. Технические условия.
36. ГОСТ 23725-79. Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия.
37. ГОСТ 23732-79. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.

#### Бетоны

38. ГОСТ 7473-76. Смеси бетонные. Технические условия.
39. ГОСТ 10268-80. Бетон тяжелый. Технические требования к заполнителям.
40. ГОСТ 18105.0-80. Бетоны. Правила контроля прочности. Основные положения.

41. ГОСТ 10060-76. Бетоны. Методы определения морозостойкости.
42. ГОСТ 10160-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение .
43. ГОСТ 10161.0-81. Смеси бетонные. Общие требования к методам испытаний.
44. ГОСТ 10161.1-81. Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости.
45. ГОСТ 10161.2-81. Смеси бетонные. Методы определения плотности.
46. ГОСТ 10161.3-81. Смеси бетонные. Методы определения пористости.
47. ГОСТ 10161.4-81. Смеси бетонные. Методы определения расслаиваемости.
48. ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.
49. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности.
50. ГОСТ 12730.2-78. Бетоны. Методы определения влажности.
51. ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения.
52. ГОСТ 12730.4-78. Бетоны. Методы определения показателей пористости.
53. ГОСТ 12730.5-78. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
54. ГОСТ 13087-67. Бетон тяжелый. Метод испытания на истираемость.
55. ГОСТ 17623-78. Бетоны. Радионуклидный метод определения плотности.
56. ГОСТ 17624-78. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
57. ГОСТ 18105.0-80. Бетоны. Правила контроля прочности.  
Основные положения.
58. ГОСТ 18105.1-80. Бетоны. Правила контроля прочности на сжатие для сборных конструкций.

59. ГОСТ 18105.2-80. Бетоны. Правила контроля прочности на сжатие для монолитных конструкций.
60. ГОСТ 19426-74. Бетоны. Метод определения коэффициента фильтрации воды.
61. ГОСТ 21217-75. Бетоны. Контроль и оценка прочности и однородности с применением неразрушающих методов.
62. ГОСТ 21243-75. Бетоны. Определение прочности методом отрыва со скалыванием.
63. ГОСТ 22690.0-77. Бетон тяжелый. Общие требования к методам определения прочности без разрушения приборами механического действия.
64. ГОСТ 22690.1-77. Бетон тяжелый. Методы определения прочности по отскоку и пластической деформации.
65. ГОСТ 22690.2-77. Бетон тяжелый. Метод определения прочности эталонным молотком Кашкарова.
66. ГОСТ 22690.3-77. Бетон тяжелый. Метод определения прочности отрывом.
67. ГОСТ 22690.4-77. Бетон тяжелый. Метод определения прочности скалыванием ребра конструкции.
68. ГОСТ 22783-77. Бетон. Метод ускоренного определения прочности на сжатие.
69. ГОСТ 24316-80. Бетоны. Метод определения тепловыделения при твердении.
70. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
71. ГОСТ 24544-81. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести.
72. ГОСТ 24545-81. Бетоны. Методы испытаний на выносливость.
73. ГОСТ 25192-82. Бетоны. Классификация и общие технические требования.

74. ГОСТ 4795-68. Бетон гидротехнический. Технические требования.
75. ГОСТ 4797-69\*. Бетон гидротехнический. Технические требования к материалам для его приготовления.
76. ГОСТ 8424-72\*. Бетон дорожный.
  
77. ГОСТ 4.217-81. Система показателей качества продукции. Строительство. Формы для изготовления железобетонных изделий. Номенклатура показателей.
78. ГОСТ 4.250-79. Система показателей качества продукции. Бетонные и железобетонные изделия и конструкции. Номенклатура показателей.
79. ГОСТ 21.503-80. Система проектной документации для строительства. Конструкции бетонные и железобетонные. Рабочие чертежи.
80. ГОСТ 13015.0-83. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования.
81. ГОСТ 13015.1-81. Изделия железобетонные и бетонные. Общие технические требования.
82. ГОСТ 13015.2-81. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Правила маркировки.
83. ГОСТ 13015.3-81. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Документ о качестве.
84. ГОСТ 23009-78. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Условные обозначения (марки).
85. ГОСТ 15.001-73. Разработка и постановка продукции на производство.
86. ГОСТ 25627-83. Изделия железобетонные для силосных сооружений элеваторов и зерноперерабатывающих предприятий.
87. СТ СЭВ 2046-79. Бетоны. Контроль и оценка прочности. Основные положения.
88. СТ СЭВ 1406-78. Конструкции бетонные и железобетонные. Основные положения проектирования.

## ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ ЦЕМЕНТЫ, БЕТОНЫ

### Изделия и конструкции

89. ГОСТ 3476-74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные.
90. ГОСТ 2263-79. Натр едкий технический. Технические условия.
91. ГОСТ 9285-76. Калия гидрат окиси технический. Технические условия.
92. ГОСТ 5100-73. Сода кальцинированная техническая. Технические условия.
93. ГОСТ 10689-75. Сода кальцинированная техническая из нефелинового сырья. Технические условия.
94. ГОСТ 10690-73. Калий углекислый технический (поташ).
95. МРТУ 6-08-194-64. Смесь плавленных щелочей.
96. ТУ 6-03-28-02-76. Красный каустик.
97. СПТ 6-03-23-78-70. Смесь щелочей. Карбонаты едких щелочей.
98. ТУ 6.03.294-71. Плав соды кальцинированный.
99. ГОСТ 13079-81. Силикат натрия растворимый.
100. ГОСТ 13078-67. Стекло натриевое жидкое.
101. ВСН-3-71. Временные технические указания по производству и применению мелкозернистых шлакосиликатных бетонов, изделий и конструкций для сельского строительства. Минсельстрой СССР. М. 1971.
102. ВСН-264-74. Технические указания по приготовлению и применению бетонов и строительных растворов на основе шлаковых вяжущих. Госстрой УССР. Киев, 1974.
103. ВТУ 183-74. Временные технические указания по производству шлакощелочного вяжущего, бетонов и изделий на его основе. Киев, 1974.
104. ТУ 67 УССР 181-74. Вещество вяжущее шлакощелочное. Киев, 1974.
105. ТУ 67 УССР 182-74. Изделия бетонные и железобетонные на шлакощелочном вяжущем. Технические условия.

106. ТУ 21 УССР 95-77. Цемент шлакощелочной. НИИЦемент, КИСИ.  
Киев, 1977.
107. ТУ 21 УССР 97-77. Блоки стеновые на шлакощелочном цементе.  
Киев, 1977.
108. ТУ 21 УССР 83-77. Кирпич безавтоклавный на шлакощелочном  
цементе.
109. ТУ 65-224-78. Шлак молотый кислый для производства шлакоще-  
лочного вяжущего. Оргтехстрой. Глазгапудуралстрой.
110. ТУ 65-19-01-78. Бетоны на шлакощелочном вяжущем для дорож-  
ного строительства. СибАДИ.
111. ТУ 65-276-78. Шлаки молотые для производства шлакощелочного  
вяжущего. КТБ "Стройиндустрия", КИСИ.М., 1978.
112. ТУ 65-277-78. Вяжущее шлакощелочное. КТБ Стройиндустрия, КИСИ.  
М., 1978.
113. ТУ 65-278-78. Бетоны на шлакощелочном вяжущем. КТБ Стройин-  
дустрия, КИСИ.М., 1978.
114. СН 65-83-78. Технические указания по производству шлакощелоч-  
ного вяжущего, бетонов и изделий на его основе. КТБ. Строй-  
индустрия, КИСИ.М., 1978.
115. ВСН 2-97-77. Инструкция по технологии изготовления сборного  
железобетона на шлакощелочном вяжущем. ВНИИСТ Миннефтегаз-  
строй. М., 1978.
116. ТУ 204 УССР 11-79. Плиты тротуарные из шлакощелочного бето-  
на на основе кальцинированной соды. Киев, 1979.
117. ТУ 204 УССР 19-79. Камни бортовые из шлакощелочного бетона  
на основе кальцинированной соды. Киев, 1979.
118. ТУ 33 УзССР 04-82. Шлакощелочные вяжущие на основе гранули-  
рованного электротермофосфорного шлака.
119. ТУ 33 УзССР 03-82. Бетонные и железобетонные плиты для облиц-  
овки каналов и лотков оросительных систем на шлакощелочном  
вяжущем.

120. Рекомендации по применению бетонов на шлакощелочном вяжущем в сульфатных и хлоридных средах. Р-26-79. НИИЖБ Госстроя СССР. М., 1978.

#### Литература

121. Константинов В.В., Пузанов Г.Т. Шлакосиликат-высокопрочный быстротвердеющий материал. Вестник Казахского филиала АС и А СССР № 1-2, Алма-Ата, 1958.
122. Константинов В.В., Пузанов Г.Т. Высокопрочные быстротвердеющие вяжущие материалы на основе гранулированных доменных шлаков и растворимого стекла. Строительные материалы № 8. 1960.
123. Константинов В.В. Высокопрочные бетоны на местных вяжущих из доменных шлаков Запорожья. Лидкое стекло, материалы совещания, Киев, 1963.
124. Константинов В.В. Высокопрочный, быстротвердеющий шлакосиликатный цемент, бетоны и конструкции на основе гранулированных доменных шлаков Запорожья. Сборник материалов Всесоюзной конференции по применению сборного железобетона. Киев, 1965.
125. Константинов В.В. Технология производства конструкций из быстротвердеющих бетонов на шлакосиликатном цементе. Сборник трудов VI Всесоюзной конференции по бетону и железобетону. М., 1966.
126. Константинов В.В., Нейман А.Г., Евстифеева Л.С. Получение легкого бетона на основе шлакосиликатного цемента. Всесоюзная конференция по легким бетонам. Сборник № 2, Стройиздат, М., 1970.
127. Константинов В.В., Евстифеева Л.С. Быстротвердеющий мелкозернистый шлакосиликатный бетон. Всесоюзное совещание: Применение эффективных строительных материалов, изделий и конструкций в сельском строительстве. М., 1971.
128. Константинов В.В., Евстифеева Л.С., Малинин Ю.С. О гидравлических свойствах шлакосиликатного вяжущего на основе шлаков Ново-Тульского металлургического завода. Строительные материалы № 10, 1973.
129. Константинов В.В., Васильева Т.А., Павлов А.П. Взаимодействие шлакосиликатного вяжущего с пылеватыми и глинистыми добавками. Строительные материалы № 9, 1975г.

130. Константинов В.В., Евстифеева А.С., Мерзляков В.Н. Прочностные и деформативные свойства керамзитобетона на шлакособесилкатном цементе. Конструкции и технология строительства сооружений силосного типа. Сборник трудов № 3, ОНТИ, ЦНИИЖсельстрой, М., 1977.
131. Глуховский В.Д., Курепа Р.Н., Ракша В.А. и др. Использование отходов в производстве шлакощелочных бетонов. Материалы конференции. Вып. 5, Киев, 1972.
132. Глуховский В.Д., Слюсаренко С.А., Румына Г.В. Шлакощелочные на основе суглинистых грунтов. Сборник. Основания и фундаменты. Вып. 5, Киев, 1972.
133. Глуховский В.Д., Курепа Р.Н., Ростовская Г.С., Ракша В.А. Коррозионная стойкость шлакощелочных бетонов. Тезисы докладов. Будивельник, Киев, 1973.
134. Глуховский В.Д., Ростовская Г.С., Ракша В.А., Курепа Р.Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны. Сборник научных трудов, вып. II9. Магнитогорск, 1973.
135. Фомичев Н.А., Сильченко Л.А., Ракитин Е.А. Новые направления в использовании местных материалов и отходов промышленности в строительстве. Учебное пособие. М., МИСИ, 1976.
136. Сильченко Л.А., Фомичев Н.А. Песчаные бетоны на шлакощелочном вяжущем. Учебное пособие. М., МИСИ, 1977.
137. Пашков И.А. Шлакощелочные вяжущие и бетоны на их основе. Учебное пособие. Киев, КИСИ, 1977.
138. Щелочные и щелочно-земельные гидравлические вяжущие и бетоны. (Под ред. докт. техн. наук, проф. В.Д. Глуховского). Сборник. Киев, Высшая школа, 1979.
139. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев, 1978.
140. Шлакощелочные вяжущие и мелкозернистые бетоны на их основе (под ред. докт. техн. наук, проф. В.Д. Глуховского). Коллектив авторов: А.Г. Алиев, А.А. Волянский, В.Д. Глуховский... В.А. Пахомов и др. Ташкент, Узбекистан, 1980.
141. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях (под ред. докт. техн. наук, проф. В.Д. Глуховского). Киев, Вища школа, 1981.
142. Вахненко П.Ф., Вахненко В.П. Железобетонные конструкции сельскохозяйственных зданий. Расчет и проектирование. Киев, Будивельник, 1982.

- I43. Железобетонные конструкции (примеры расчета). (Под ред. И.П.Полянова, Е.Ф. Лысенко, И.А. Русинова), Киев, Вида школа, 1975.
- I44. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции. Тезисы докладов научной Всесоюзной конференции. Киев, 1979.
- I45. Пахомов В.А. Конструкции из шлакощелочных бетонов. Киев, Вида школа, 1984.
- I46. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции. Тезисы докладов II Всесоюзной научно-практической конференции. Киев, 1984.

Приложение 6

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

6.1. Общие сведения.

Конструкции для расчета приняты из действующих типовых проектов: проекта 816-196 центральной ремонтной мастерской для хозяйств с парком 75 тракторов, разработанного институтом Гипросельхозпром и утвержденного Минсельхозом СССР в 1977 г., и проекта 801-396 телятника на 720 голов, разработанного проектным институтом Ставропольгипросельхозстрой в 1977 г. [142].

Для ремонтной мастерской предусмотрено применение колонн по серии КЗ-01-49, вып.2, фундаментов под них серии 1.412-1, вып.1-2, предварительно-напряженных железобетонных панелей покрытия размером 3x6 м (серия 1.465-7, вып.1,2.1) и двускатных решетчатых балок покрытия (серия 1.462-3, вып.1). В качестве варианта вместо балок можно использовать безраскосные фермы по серии 1.863-1, вып.1, двускатных балок по серии ПК-06-06, вып.8, и сегментных ферм по серии ПК-01-129/68, вып.1. Подвесной электрический кран грузоподъемностью 3,2 т со средним режимом.

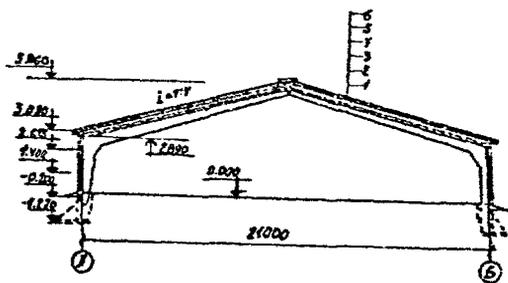
Схематические фрагменты разреза и плана мастерской показаны на рис. 6.1.

Для телятника предусмотрены трехшарнирные рамы РЖ 210-2 по серии 1.800-2/74, вып.3 и сборные панели покрытия по серии 1.800 - 2/74, вып.5 (рис. 6.2).

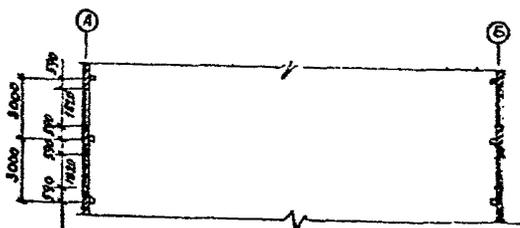
Районы строительства с весом снегового покрова  $0,7 \text{ кН/м}^2$  со скоростным напором ветра  $0,35 \text{ кН/м}^2$ .

Рассчитаем все основные конструкции (панель, балки, фермы, колонна, фундамент). Эти конструкции находят широкое применение в различных сельскохозяйственных зданиях.

Возраст бетона в момент загрузки конструкций  $\tau = 28$  сут. при



а



б

Рис. 6.1. Телятник:  
 а — поперечный разрез;  
 б — фрагмент плана

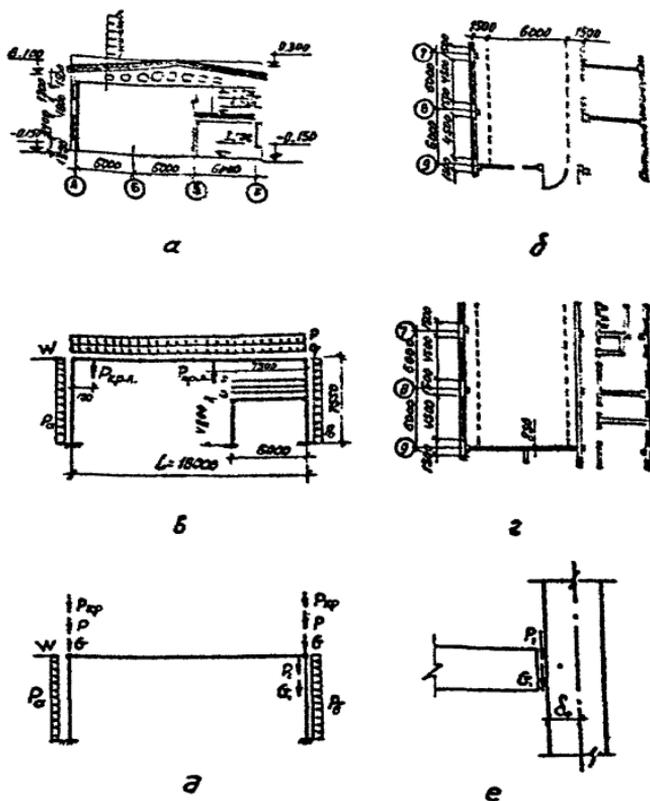


Рис. 6.2. Мастерская по ремонту тракторов:

- а) поперечный разрез;
- б) фрагмент плана соответственно на отметке С,ССС и 4,200 ;
- в) статическая и д) расчетная схема поперечной рамы;
- е) схема спирания ригеля перекрытия

относительной влажности среды  $\theta = 70\%$  и средней температуре  $t = 15^\circ\text{C}$ .

## 6.2. Ребристая панель покрытия

### Исходные данные

Панель ребристая, предварительно-напряженная (рис.6.3). Изготовлена из пропаренного ШБ марки 250:  $R_{\text{пр}} = 9,55 \text{ МПа}$ ;  $R_p = 0,85 \text{ МПа}$ ;  $R_{\text{прII}} = 13,5 \text{ МПа}$ ;  $R_{\text{рII}} = 1,37 \text{ МПа}$ ;  $E_0 = 0,21 \cdot 9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;  $\xi_{\text{мс}} = 280 \cdot 10^3$ ;  $T = 28 \text{ сут.}$ ;  $\theta = 70\%$ ;  $t = 15^\circ\text{C}$ . Вид вяжущего компонента - жидкое стекло;  $m_{\text{ш}} = 0,8$ . Напрягаемая арматура продольных ребер из стали класса А-IV:  $R_a = 500 \text{ МПа}$ ;  $R_a^H - R_{\text{вII}} = 600 \text{ МПа}$ ;  $E_a = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ . Сварная сетка плиты и каркасы продольных ребер выполняются из стали класса В-I:  $R_a = 315 \text{ МПа}$ ;  $R_a^H = R_{\text{вII}} = 550 \text{ МПа}$ ;  $R_{\text{ак}} = 220 \text{ МПа}$ ;  $E_a = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ . Каркасы поперечных ребер из стали класса А-III:  $R_a = 340 \text{ МПа}$ ; класса В-I:  $R_{\text{ак}} = 220 \text{ МПа}$ . Механический способ натяжения на упоры. Температурный перепад  $\Delta t = 65^\circ\text{C}$ . Передаточная прочность  $R_0 = 0,8$   $R = 0,8 \cdot 25,0 \cdot 20,0 \text{ МПа}$ ;  $R_{\text{пр}}^0 = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 9,55 = 9,2 \text{ МПа}$ ;  $R_{\text{пр}}^0 = 0,8 \cdot 13,5 = 10,8 \text{ МПа}$ ;  $R_p^0 = 0,8 \cdot 1,37 = 1,1 \text{ МПа}$ .

### Расчет плиты панели (полки)

Пролеты плиты в свету (рис.6.3,а) равны: в направлении поперечных ребер  $l_2 = 2,71 \text{ м}$ , в направлении продольных пролетов для крайних пролетов  $l_1 = 80 \text{ см}$  и для средних  $l_1 = 88 \text{ см}$ . Так как  $l_2/l_1 = \frac{271}{88} = 3,08 > 3$ , то плиту рассчитываем как балочную;  $h_{\text{п}} = 3 \text{ см}$   
 $h_0 = h_{\text{п}}/2 = 1,5 \text{ см}$ . Расчетная схема плиты показана на рис.6.3,а [142].

$$\text{Максимальный момент } M = - \frac{q l^2}{11} = - \frac{2,80 \cdot 0,88^2}{11} = 0,197 \text{ кН м}.$$

В соответствии с п. 3.2 Рекомендаций

$$\xi_0 = 0,9 - 0,008 R_{\text{пр}} = 0,9 - 0,008 \cdot 9,55 = 0,824; R_{\text{ас}} = \xi_{\text{мс}} E_a = 280 \cdot 2 = 560 \text{ МПа}; \xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{0,4 E_a}{R_{\text{ас}} (1 - \xi_0)}} = \frac{0,824}{1 + \frac{315}{560} (1 - 0,824)} = 0,56; A_R = \xi_R (1 - 0,4 \xi_R) = 0,66 (1 - 0,4 \cdot 0,66) = 0,485;$$

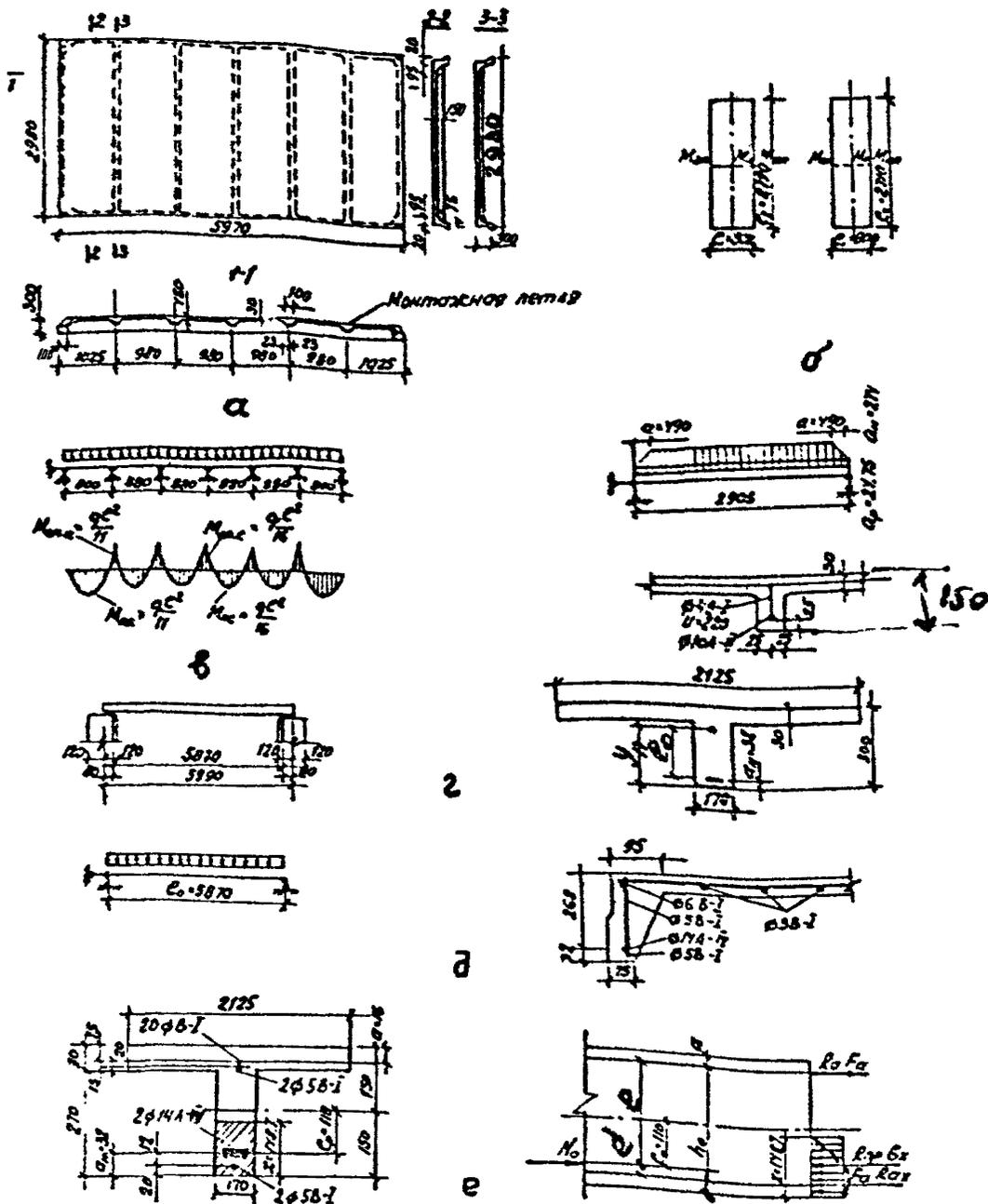


Рис. 6.3. Конструкция ребристой панели покрытия:

а - конструкция панели; б-полка плиты; в-расчетная схема полки плиты, эпюра моментов; г-расчетная схема и сечение поперечного ребра; д-расчетная схема, сечение и армирование панели в продольном направлении; е-расчетные схемы напряжений, усилий для расчета в стадии изготовления, транспортирования и монтажа

$$A_0 = \frac{M}{bh_0^2 \cdot R_{пр}} = \frac{0,197 \cdot 10^5}{100 \cdot 1,5^2 \cdot 9,55(100)} = 0,0092 < A_R = 0,485 \text{ по}$$

табл. 3.1 прил. 3 находим  $\xi = 0,10$ ;  $U = 0,960$  и сечение арматуры равно  $F_a = \frac{M}{U \cdot h_0 \cdot R_a} = \frac{0,197 \cdot 10^5}{0,960 \cdot 1,52 \cdot 340(100)} = 0,402 \text{ см}^2$ .

Принимаем сварную сетку 150/150/3/3 шириной 2,9 м. При общей площади сечения продольных стержней 1,42 см<sup>2</sup> на полосу плиты шириной 1 м приходится  $F_a = 1,42 : 2,9 = 0,49 \text{ см}^2 > 0,402 \text{ см}^2$ .

#### Расчет поперечных ребер

Расчетный пролет равен расстоянию между осями продольных ребер  $l_0 = 298 - 2 \cdot \frac{7,5}{2} = 290,5 \text{ см}$  (рис. 6.3, а). Нагрузка на ребро складывается из его собственного веса  $q_p = \frac{0,1 + 0,05}{2} \cdot 0,12 \cdot 25 \cdot 0,1,1 = 0,25 \text{ кН/м}$  и нагрузки от плиты  $q_n = q \cdot 0,98 = 2,80 \cdot 0,98 = 2,74 \text{ кН/м}$ ; общая величина нагрузки  $q = q_n + q_p = 2,74 + 0,25 = 2,99 \text{ кН/м}$ .

У опор на участке  $c = \frac{0,49}{2} = 0,245 \text{ м}$  нагрузка снижается от  $q = 2,99 \text{ кН/м}$  до  $q_p = 0,25 \text{ кН/м}$  (см. рис. 6.3, а).

Изгибающий момент в ребре :

$$M = \frac{q \cdot l_0^2}{8} - \frac{q_p \cdot c^2}{6} = \frac{2,99 \cdot 2,905^2}{8} - \frac{2,74 \cdot 0,49^2}{6} = 3,04 \text{ кНм}.$$

Поперечная сила :

$$Q = \frac{q \cdot l_0}{2} - q_p \cdot c = \frac{2,99 \cdot 2,905}{2} - \frac{2,74 \cdot 0,49}{2} = 3,71 \text{ кН}.$$

При  $d \leq 10 \text{ мм}$   $a = 2,5 \text{ см}$ ,  $h_0 = h - d = 15 - 2,5 = 12,5$  ;

$\xi_R = 0,66$  ;  $A_R = 0,485$ ; при  $\sigma_A = 340 \text{ МПа}$  .

Момент, воспринимаемый полкой при  $F_a' = 0$ ,  $F_n' = 0$

$M_n = R_{пр} \cdot b_n' \cdot h_n' (h_0 - 0,5 h_n') = 9,55 \cdot 98 \cdot 3(12 - 0,5 \cdot 3) = 29,48 \text{ кНм}$  .

При  $M_n = 29,48 \text{ кНм} > M = 3,04 \text{ кНм}$   $\chi < h_n'$  . Расчет производим как прямоугольного сечения  $b = b_n' = 98 \text{ см}$  .

Тогда  $A_0 = \frac{M}{b_n' h_0^2 \cdot R_{пр}} = \frac{3,04 \cdot 10^5}{98 \cdot 12,5^2 \cdot 9,55(100)} = 0,020$ ; по табл. 3.1

прил. 3 находим  $\xi = 0,02$  ;  $U = 0,99$  ;  $F_a = \frac{M}{U \cdot h_0 \cdot R} =$

$$= \frac{3,045 \cdot 10^5}{0,992 \cdot 12,5 \cdot 340(100)} = 0,723 \text{ см}^2; \text{ принимаем } I\phi \text{ IO A-III с } F_a = 0,785 \text{ см}^2; \text{ так как } K_I \cdot R_p \cdot b \cdot h_0 = 0,5 \cdot 0,85 \cdot \frac{10+5}{2} \cdot 12,5 = 3,98 > Q = 3,71 \text{ кН, то поперечная арматура в поперечном ребре по расчету не требуется; по конструктивным соображениям принимаем } \phi_x 4 \text{ B}_p \text{-I с шагом } u_x = 20 \text{ см.}$$

Расчет продольных ребер

### 1) Нагрузки и усилия

Собственный вес панели с учетом замоноличивания швов  $26,5/(3 \times 6) = 1,47 \text{ кН/м}^2$ , вес конструкции кровли  $0,77 \text{ кН/м}^2$ ; снеговая  $0,7 (0,98) \text{ кН/м}^2$  [142]. Расчетный пролет  $l_0 = 5,87 \text{ м}$  (рис.6.3Д). Усилия определяем как для свободно опертой плиты [142].

### 2) Расчет прочности нормального сечения

$$h = 30 \text{ см}; b = 2 \cdot \frac{7,5+9,5}{2} = 17,0 \text{ см}; b'_H = 212,5 \text{ см}; h'_H = 3 \text{ см}; a = 3,2 \text{ см}; h_0 = 30 - 3,2 = 26,8 \text{ см}; \text{ принимаем предварительно } \sigma_0 = 400 \text{ МПа}; \xi_0 = 0,9 - 0,008 R_{np} = 0,9 - 0,008 \cdot 9,55 = 0,824; \sigma_A = R_a + 400 - \sigma_0 = 500 + 400 - 400 = 500 \text{ МПа}; R_{ac} = \epsilon_{mb} E = 280 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5 = 560 \text{ МПа}; \xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{R_{ac}} (1 - \frac{\xi_0}{1,1})} = \frac{0,824}{1 + \frac{500}{560} (1 - \frac{0,824}{1,1})} = 0,659; A_R = \xi_R (1 - 0,4 \xi_R) = 0,659$$

$$(1 - 0,4 \cdot 0,659) = 0,485; \delta'_H = 2 \frac{587}{6} + 17 = 212,5 \text{ см};$$

$$\text{так как } M_H = R_{np} \cdot b'_H \cdot h_H (h_0 - 0,5 h'_H)^2 = 9,55 \cdot 212,5 \cdot 3 \cdot (26,8 - 0,5 \cdot 3)^2 \cdot 10^{-3} = 153,2 \text{ кНм} > M = 40,64 \text{ кНм, то } X < h'_H \text{ и } b = b'_H = 212,5 \text{ см}; A_0 = \frac{M}{b'_H h_0^2 \cdot R_{np}} = \frac{46,39 \cdot 10^5}{212,5 \cdot 26,8^2 \cdot 9,55(100)} = 0,032 < A_R = 0,485; \xi = 0,031; \nu = 0,988 \text{ по табл.3.1 прил.3}; m_{ay} = \bar{m}_{ay} - (\bar{m}_{ay} - 1) \frac{\xi}{\xi_R} = 1,2 - (1,2 - 1) \cdot \frac{0,031}{0,659} = 1,19; F_H = \frac{M}{\nu h_0 \cdot R_a} = \frac{46,39 \cdot 10^5}{0,988 \cdot 26,8 \cdot 500(100)} = 3,50 \text{ см}^2.$$

Незатянутую арматуру в каждом ребре принимаем I Ø 5 В-I (2 Ø 5 В-I с  $F_0 = 0,393 \text{ см}^2$ ) и окончательно

$$F_n = \frac{F_n R_{ан} - F_0 R_0}{R_{ан} \text{ шаг}} = \frac{2,5 \cdot 500 - 0,393 \cdot 315}{500 \cdot 1,19} = 2,73 \text{ см}^2,$$

принимаем по I Ø 14 А-IV ( $F_n = 3,08 \text{ см}^2$ ).

### 3) Расчет прочности наклонного сечения

$$\text{При } K_2 R_p b h_0 = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 17 \cdot 26,8 = 19,36 \text{ кН} < Q = 31,61 \text{ кН}$$

требуется расчет поперечной арматуры :

$$q_x \text{ тр} = \frac{Q^2}{4 \cdot K_2 R_p b h_0^2} = \frac{(31,61 \cdot 10^3)^2}{4 \cdot 1,75 \cdot 0,85 \cdot 17 \cdot 26,8^2 (100)} = 137,5 \text{ Н/см};$$

$$\frac{R_p}{2} = \frac{0,85 \cdot 17 (100)}{2} = 722,5 \text{ Н/см}; \text{ принимаем большее } q_x \text{ тр} =$$

$$= 722,5 \text{ Н/см}^2; q_x \text{ макс} = \frac{0,75 \cdot K_2 R_p b h_0^2}{2} =$$

$$= \frac{0,75 \cdot 1,75 \cdot 0,85 \cdot 17 \cdot 26,8^2 (100)}{31,61 \cdot 10^3} = 43,1 \text{ см}; \text{ при } h < 450 u_x < h/2 =$$

$$= 30/2 = 15 \text{ см}; u_x = 150 \text{ мм}; \text{ принимаем } u_x = 15 \text{ см}; n_x = 2;$$

$$f_x \text{ тр} = \frac{q_x \text{ тр} u_x}{R_{ax} \cdot n_x} = \frac{722,5 \cdot 15}{220 \cdot 2 (100)} = 0,246 \text{ см}^2 > f_{ax} = 0,196 \text{ см}^2$$

$$\text{при } \phi 5; \text{ уменьшаем шаг } u_x = 10 \text{ см}; f_{ax} \text{ тр} = \frac{q_x \text{ тр} u_x}{R_{ax} \cdot n_x} =$$

$$= \frac{722,5 \cdot 10}{22 \cdot 2 (100)} = 0,164 \text{ см}^2; \text{ I } \phi 5 \text{ В-I с } f_{ax} = 0,196 \text{ см}^2.$$

$$\text{Проверяем несущую способность: } q_x = \frac{R_{ax} \cdot f_{ax} \cdot n_x}{u_x} =$$

$$= \frac{220 \cdot 0,196 \cdot 2 (100)}{10} = 862,4 \text{ Н/см}; Q_{x0} = 2 \sqrt{K_2 R_p b h_0^2} q_x =$$

$$= 2 \sqrt{1,75 \cdot 0,85 \cdot 17 \cdot 26,8^2} 862,4 (100) = 79,15 \cdot 10^3 \text{ Н} = 79,15 \text{ кН} > Q =$$

= 31,61 кН. Несущая способность обеспечена, и все требования

СНиП [1] выполнены. Армирование продольного ребра показано на рис. 6.3, д.

### 4) Определение геометрических характеристик

приведенного сечения

$$\eta_n = \eta_0 = \frac{R_a}{R_b} = \frac{2 \cdot 10^5}{0,219 \cdot 10^5} = 9,13; F_{пр} = F_0 + \sum n_b f_0 = 212,5 \text{ з} +$$

$+ 27 \cdot 17 + 9,13(3,08 + 0,393) = 1144,76 \text{ см}^2$ ;  $S_{\text{пр}} = S + \sum n_a \cdot S_a =$   
 $= 212,5 \cdot 3 \cdot 28,5 + 27 \cdot 17 \cdot 13,5 + 9,13(1,42 \cdot 28,5 + 0,393 \cdot 28 + 3,08 \cdot 3,2 +$   
 $+ 0,393 \cdot 2) = 24932 \text{ см}^3$ ; расстояние от нижней грани до цен -  
 тра тяжести приведенного сечения  $y = \frac{S_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{24932}{1144,76} = 21,8 \text{ см}$ ;  
 $e_o = y_{\text{ан}} - a_{\text{н}} = 21,8 - 3,2 = 18,6 \text{ см}$ ; приведенный момент  
 инерции сечения  $J_{\text{пр}} = J + n_a J_a = \frac{212,5 \cdot 3^3}{12} + 212,5 \cdot 3 \cdot 7,2^2 +$   
 $+ \frac{17 \cdot 27^3}{12} + 17 \cdot 27 \cdot 7,8^2 + 9,13(1,42 \cdot 7,2^2 + 0,393 \cdot 6,7^2 + 3,08 \cdot 18,6^2 +$   
 $+ 0,393 \cdot 19,3^2) = 101234,6 \text{ см}^4$ . Момент сопротивления приведенного  
 сечения относительно нижней грани  $W_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{пр}}}{y} = \frac{101234,6}{21,8} = 4643,8 \text{ см}^3$   
 то же, относительно верхней  $W_{\text{об}} = \frac{J_{\text{пр}}}{h - y} = \frac{101234,6}{30 - 21,8} = 12345,7 \text{ см}^3$ .

#### 5) Предварительное напряжение и его потери

а) Начальное контролируемое напряжение  $\sigma_{\text{нк}}$  находим из условия  
 $\sigma_{\text{нк}} + \rho = R_{\text{нт}}$ , т.е.  $\sigma_{\text{нк}} + 0,05 \sigma_{\text{нк}} = 1,05 \sigma_{\text{нк}} = 600 \text{ МПа}$ ,  
 откуда  $\sigma_{\text{нк}} = \frac{600}{1,05} = 570 \text{ МПа}$ .

б) Потери напряжения, происходящие до окончания обжатия бетона  
 от релаксации напряжений  $\sigma_1 = 0,1 \sigma_{\text{нк}} - 20 = 0,1 \cdot 570 - 20 = 37 \text{ МПа}$ ;  
 от температурного перепада  $\sigma_2 = 1,25 \Delta t = 1,25 \cdot 65 = 81 \text{ МПа}$ ;  $t = 6 + 2 = 8$ ;  
 от деформации анкеров  $\sigma_3 = \frac{\lambda}{l} E_a = \frac{0,2 \cdot 2 \cdot 10^5}{8000} = 5 \text{ МПа}$ ; предвари -  
 тельно  $\sigma_{\text{от}} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 37 + 81 + 5 = 123 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_o = \sigma_{\text{нк}} - \sigma_{\text{от}} =$   
 $= 570 - 123 = 447 \text{ МПа}$ ;  $N_o = \sigma_o \cdot F_{\text{н}} = 447 \cdot 3,08 = 137,68 \text{ кН}$ ;  $e_o = y_{\text{ан}} =$   
 $= y_{\text{н}} - a_{\text{н}} = 21,8 - 3,2 = 18,6 \text{ см}$ ;  $e_{\text{ан}} = 0$ .

Напряжение обжатия бетона : на уровне растянутой арматуры  
 $\sigma_{\text{обн}} = \frac{N_o}{F_{\text{пр}}} + \frac{N_o e_{\text{он}}^2}{J_{\text{пр}}} = \frac{137680}{1144,76(100)} + \frac{137680 \cdot 18,6^2}{101234,6(100)} = 5,91 \text{ МПа}$ ;

на уровне крайнего сжатого волокна  $\sigma'_{\text{обн}} = \frac{N_o}{F_{\text{пр}}} - \frac{N_o e_o}{J_{\text{пр}}} y =$   
 $= \frac{137680}{1144,76} - \frac{137680 \cdot 18,6}{101234,6} \cdot 8,2 = -0,87 \text{ МПа}$ ; потери от быстро-

натекающей ползучести при  $\eta_n = \frac{\sigma_{\text{обн}}}{R_0} = \frac{5,88}{20} = 0,29 \leq 0,5$ ;

$$\begin{aligned} \sigma_6 &= 85 \eta_n = 85 \cdot 0,29 = 24,7 \text{ МПа}; \sigma_{\text{н}} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_6 = \\ &= 37 + 81 + 5 + 24,7 = 147,7 \text{ МПа}; \sigma_{\text{н}} = \sigma_{\text{нк}} - \sigma_{\text{н}} = 570 - 147,7 = \\ &= 422,3 \text{ МПа}; \sigma_a = \sigma_6 = 24,7 \text{ МПа}; N_{\text{от}} = \sigma_{\text{от}} F_n - \sigma_a F_a = \\ &= (422,3 \cdot 3,08 - 24,7 \cdot 0,393)(100) = 12,91 \text{ кН}; \text{напряженне обжатия} \\ \text{бетона } \sigma_{\text{от}} &= \frac{N_{\text{от}}}{F_s} + \frac{N_{\text{от}} \cdot e_0^2}{J_{\text{обн}}} = \frac{129,1 \cdot 10^3}{1144,76(100)} + \frac{29,1 \cdot 10^3 \cdot 18,6^2}{101234,6(100)} \\ &= 5,54 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

в) Потери, происходящие после обжатия ИШБ (табл. I Рекомендации); от усадки  $\sigma_8 = 50$  МПа; от ползучести  $\sigma_9 = \frac{\sigma_{\text{от}} \cdot \varphi}{M_1 \rho_1} - \sigma_6 =$   
 $= \frac{\sigma_{\text{от}}}{M_1 \rho_1} \varphi - 85 \eta$ ;  $\sigma_{\text{от}} = 5,54$  МПа;  $\sigma_6 = 24,7$  МПа;  $M_n = \frac{F_1 + F_2}{b h d} =$   
 $= \frac{3,08 + 1,42}{17 \cdot 26,8} = 0,01$ ;  $\varphi = 1 - e^{-\frac{n_a M \cdot \rho_1 \cdot \varphi_{\text{от}}}{1 + n_a M \rho_1}} = 1 - e^{-\alpha} = 1 - \frac{1}{e^\alpha}$ ;

$n_a = 9,13$ ;  $\varphi_m = \varphi_m^n K_1^n K_2^n K_3^n K_{\text{от}}$ ; по табл. 2.2 прил. 2 Рекомендации  $K_1^n = 1$  при  $\tau = 28$  суток.  
 При  $M_0 = \frac{2(\sigma_{\text{от}} + k)}{F} = \frac{2(212,5 + 30)}{212,5 \cdot 3 + 17 \cdot 27} = 0,442$ ;  $K_2^n = 1,24 + \frac{6}{10} \cdot 0,042 =$   
 $= 1,264$ ;  $K_{\text{от}} = 0,9$  по табл. 2 Рекомендации;  $K_3^n = 0,9$ ;  $\varphi_m =$   
 $= 6,25 \cdot 1 \cdot 1,264 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 6,399$ ;  $\gamma = 1 + 0,5 \varphi_m = 1 + 0,5 \cdot$   
 $\cdot 6,399 = 4,2$ ;  $\tau^2 = \frac{J_{\text{обн}}}{F_{\text{обн}}} = \frac{101234,6}{1144,76} = 88,43 \text{ см}^2$ ;  $y_{\text{ан}} = e_0 = 18,6 \text{ см}$ ,

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 1 + \frac{y_{\text{ан}} \cdot e_0}{\tau^2} = 1 + \frac{18,6^2}{88,43} = 1 + 3,91 = 4,91; \\ \alpha &= \frac{9,13 \cdot 0,01 \cdot 4,91}{1 + 9,13 \cdot 0,01 \cdot 4,91 \cdot 4,2} \cdot 6,399 = \frac{2,8686}{2,883} = 0,995; \text{ по табл. 2.4} \\ \text{прил. 2 при } \alpha &= 0,995; \varphi = 0,634; \sigma_9 = \frac{5,54}{0,01 \cdot 5,5} \cdot 0,634 - \\ &- 24,7 = 63,81 - 24,7 = 39,16 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

Итого :  
 $\sigma_{\text{н2}} = \sigma_2 + \sigma_9 = 50 + 39,16 = 89,16$  МПа;  $\sigma_{\text{н}} = \sigma_{\text{н1}} + \sigma_{\text{н2}} = 147,7 + 89,16 =$   
 $= 236,9 \approx 237$  МПа;  $\sigma_0 = \sigma_{\text{нк}} - \sigma_{\text{н}} = 570 - 237 = 333$  МПа ;  
 усилие обжатия при  $m_r = 1$ ;  $N_0 = \sigma_0 F_n - \sigma_a F_a = 333(100) \cdot 3,08 -$   
 $- (24,7 + 89,16)(100) \cdot 0,393 = 102,56 - 4,475 = 98,09 \text{ кН} = 98,1 \text{ кН}$ .

б) Расчет нормального сечения по трещиностойкости

Расчет производим из условия (45)  $M_3 < M_{tr}$ :

$$\gamma_1 = 0; \quad \gamma_1' = \frac{(b_n' - b)h_n' + \frac{\pi_0}{\gamma} F_0'}{b \cdot h_0} = \frac{(212,5 - 17)3 + \frac{2,13}{0,47} \cdot 1,81}{17 \cdot 26,8} = 1,36;$$

$$\mu_a = \frac{F_0 + F_0'}{b h + (b_n' - b) h_n'} = \frac{1,42 + 1,81}{17 \cdot 26,8} = 0,0071; \quad \nu_0 = 0,78 \text{ ( по табл. 2.1 при } \lambda = 2 \text{); } \nu = \nu_0 \sqrt{1 - \eta^2} = 0,78 \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,47;$$

$$W_T = \left[ \nu_0 + 0,75 \left( \gamma_1 + \frac{\pi_0}{\gamma} \mu_a \right) + 0,15 \gamma_1' \right] b \cdot h^2 - \left[ 0,45 + 0,75 \left( 0 + \frac{2,13}{0,47} \cdot 0,0071 \right) + 0,15 \cdot 1,36 \right] \cdot 17 \cdot 26,8^2 = 9243,1 \text{ см}^3; \text{ высота сжатой зоны определяется по формуле (50) Рекомендация:}$$

$$x_T = h \frac{b \cdot h^2 + \frac{F_{св}}{\gamma} (h - 0,5 h_n') + \frac{\pi_0}{\gamma} (h - d') F_0}{\frac{F_{св}}{\gamma} - F_{св} + \frac{N_0}{R_{пн}}}$$

$$= 30 - \frac{17 \cdot 30^2 + (212,5 - 17) \cdot 3(30 - 0,5 \cdot 3) + \frac{2,13}{0,47} \cdot 1,81(30 - 1,5)}{\frac{1144,76}{0,47} - 0 + \frac{98,1 \cdot 10^3}{1,37(100)}}$$

= 19,5 см; тогда  $M_{tr} = 1,37(100) \cdot 9243,1 + 98,1 \cdot 10^3(18,6 + 8,2 - \frac{1}{3} \cdot 19,5) = 12,7 + 19,91 = 32,61 < M = 37,99 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , следовательно, трещины образуются.

Расчет по раскрытию трещин

Приращение напряжений в напрягаемой арматуре к моменту появления и раскрытия трещин, т.е. для стадии Ia, определяем по формуле

$$\Delta \sigma_n = \left[ \frac{M^H}{F_n z_0^H} - \left( \sigma_0 + \frac{\pi_n R_{пн}}{\gamma} \right) \right], \text{ где } z_0^H - \text{плечо внутренней пары, определяемое по нормативным усилиям и расчетным характеристикам материалов для второй группы предельных состояний: } A_0^H =$$

$$= \frac{M^H}{b_n' h_0^2 R_{пн}} = \frac{3799000}{212,5 \cdot 26,8^2 \cdot 13,5(100)} = 0,018 < A_0 = 0,03; \text{ по табл. 3.1 при } \lambda = 3 \text{ находим } \nu^H = 0,993 \text{ и } \xi^H = 0,02; \text{ т.к. } x < h_n', \text{ то можно принимать для расчета } z_0^H = z_n^H = h_0 - 0,5 h_n' = 26,8 - 0,5 \cdot 3 = 25,3 \text{ см; при кратковременном действии нагрузки}$$

$$\Delta \sigma_{\text{нкр}} = \left[ \frac{3799000}{3,08,25,3(100)} \left( 333 + \frac{9,13,1,37}{0,47} \right) \right] = 127,9 \text{ МПа; при действительном действии нагрузки } \Delta \sigma_{\text{нкр}} = \left[ \frac{2894000}{3,08,25,3(100)} - \left( 333 + \frac{9,13,1,37}{0,11} \right) \right] < 0, \text{ т.е. трещины не образуются; } A_{\text{тс}} = 0;$$

$$A_{\text{т2}} = 0; A_{\text{т1}} = K_2 C_2 \eta_a \frac{\Delta \sigma_{\text{н}}}{R_{\text{н}}} \cdot 20 \left( 3,5 - 100 \mu_a \right) \sqrt{d} = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot \frac{127,9}{2 \cdot 10^5} \cdot 20 \left( 3,5 - 100 \cdot 0,01 \right) \cdot \sqrt{14} = 0,111 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм; критическая ширина раскрытия трещины определяется по формуле ( 51 ) Рекомендаций при } \mu(\eta) = 0,15 + 0,3 \eta^2 = 0,15 + 0,3 \cdot 0,8^2 = 0,342; \gamma_t = 0,11; \text{ приращение усилия определяем по формуле ( 53 ) Рекомендаций } \Delta N_{\text{н}}^{\text{н}} = - \frac{M_{\text{н}}^{\text{н}}}{Z_{\text{н}}} - (N_0 + N_{\text{н}}) \cdot \gamma_{\text{пр}} \cdot F_{\text{н}} = \Delta \sigma_{\text{нкр}} \cdot F_{\text{н}} = 127,9 \cdot 3,08(100) = 39,4 \text{ кН; } A_{\text{ткр}} = K_2 C_2 \eta_a \frac{[1 - \mu(\eta)] b R_{\text{тсп}}^4}{\sqrt{R_0} \cdot R_{\text{пр}} \Delta N_{\text{нкр}}^{\text{н}}} = 4 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot \frac{[1 - 0,342]^2 \cdot 0,17 \cdot 0,79^4}{0,47 \cdot 2,19 \cdot 10^4 \cdot 1,37^2} \cdot \frac{10^9}{0,394 \cdot 10^5} = 0,369 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм; условие соблюдается.}$$

2) Расчет наклонных сечений по образованию трещин

Статический момент сечения полки относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения :

$$S_n = 212,5 \cdot 3 \cdot (30 - 21,8 - 0,5 \cdot 3) + 9,13(1,42 + 0,393)(30 - 21,8 - 0,5 \cdot 3) = 4382 \text{ см}^3; \text{ то же, для части сечения, расположенной выше центра его тяжести } S_n = 4382 + \frac{17(30 - 21,8 - 3)^2}{2} = 4612 \text{ см}^3;$$

касательные напряжения на уровне примыкания полки к ребру :

$$\tau = \frac{Q_n S_n}{J_{\text{об}} b} = \frac{25890 \cdot 4382}{101234,6 \cdot 17(100)} = 0,66 \text{ МПа; нормальные напряжения на уровне примыкания полки к ребру } \sigma_x = - \frac{N_0}{F_{\text{об}}} + \frac{N_0 \cdot e_{0y}}{J_{\text{об}}}$$

$$= - \frac{M}{J_{\text{об}}} \cdot y = - \frac{65,5 \cdot 10^3}{1147,76(100)} + \frac{65,5 \cdot 10^3 \cdot 18,6 \cdot 5,2}{101234,6(100)} = - \frac{65,5 \cdot 10^3 \cdot 10^5}{101234,6(100)} \cdot 5,2 = - 0,57 + 0,62 = 0,05 \text{ МПа; то же, на уровне центра тяжести } \sigma_x = - \frac{65,5 \cdot 10^3}{1144,76(100)} = - 0,572 \text{ МПа; главные растягивающие и сжимающие напряжения в плоскости примыкания ребра к полке равны}$$

$$\sigma_{\text{г.р.}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau^2} = \frac{-1,89 + 0}{2} \pm \sqrt{\frac{1,89^2}{4} + 0,66^2} = - 0,945 \pm 1,15 = 0,21 \text{ МПа; то же, на уровне центра тяжести } \sigma_{\text{г.р.}} = \frac{-0,57}{2} \pm \sqrt{\frac{0,57^2}{4} + 0,69^2} = - 0,285 \pm 0,745 = 0,46 \text{ МПа; } \sigma_{\text{с.с}} = 2,1 < m_r R_{\text{пр}} = 0,5 \cdot 13,5 = 6,75 \text{ МПа; необходимо соблюдение условия } \sigma_{\text{г.р.}} = 0,46 \text{ МПа} < R_{\text{пр}} = 1,37 \text{ МПа, т.е. наклонные трещины не образуются.}$$

8) Расчет по деформациям

$\nu = 0,47$ ;  $\nu_{\xi} = 0,112$  по табл. 2.1 прил. 2 Рекомендации.

Функция нелинейности для бетона при длительном действии нагрузки

$$\lambda_0 = \frac{\mu \eta}{b h_0^2 \cdot R_{прл}} = \frac{37,99 \cdot 10^5}{17 \cdot 26,8^2 \cdot 13,5(100)} = 0,23; \quad \int_{h_0}^1 = \frac{1}{\nu_{\xi}};$$

по табл. 3.1 прил. 3 Рекомендации  $\xi = 0,256$ ;  $\chi = \xi \cdot h_0 =$

$= 0,256 \cdot 26,8 = 6,86$  см, т.е.  $\chi > h'_0 = 3$  см - нейтральная ось про-

ходит в ребро;

$$\frac{1}{\rho_{дл}} = \frac{\xi \chi}{\nu_{\xi} E_0 \cdot \omega b h_0^3 \xi (\gamma + \xi) (1 - 0,4 \xi)} = \frac{\psi_0 \cdot M_{дл}}{0,9 \cdot 28,94 \cdot 10^5}$$

$$= \frac{0,112 \cdot 0,219 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 17 \cdot 26,8^3 \cdot 0,256 (1,32 + 0,256) (1 - 0,4 \cdot 0,256) (100)}{0,9 \cdot 28,94 \cdot 10^5}$$

$$= \frac{26,05}{2,91} \cdot 10^{-5} = 8,95 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}; \quad \frac{1}{\rho_n} = \frac{\psi_n \cdot M^н}{\nu_{\xi} E_0 \cdot \omega b h_0^3 \xi (\gamma + \xi) (1 - 0,4 \xi)}$$

$$= \frac{0,9 \cdot 37,99 \cdot 10^5}{0,47 \cdot 0,219 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 17 \cdot 26,8^3 \cdot 0,256 (1,32 + 0,256) (1 - 0,4 \cdot 0,256) (100)}$$

$$= 2,14 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}; \quad \text{от выгиба } \frac{1}{\rho_{дл}} = \frac{\sigma_n + \sigma'_n}{E_n h_0} = \frac{\sigma_{k1} + \sigma_{k2} + \sigma_{k3} + 0}{E_n h_0}$$

$$= \frac{24,7 + 50 + 39,16}{2 \cdot 10^5 \cdot 26,8} = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}; \quad \frac{1}{\rho_{дл.кр}} = 2,14 \cdot \frac{28,94}{37,99} \cdot 10^{-5} =$$

$$= 1,63 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}; \quad \frac{1}{\rho_c} = \frac{1}{\rho_n} - \frac{1}{\rho_{дл.кр}} + \frac{1}{\rho_{дл}} = (2,14 - 1,63 + 8,95 -$$

$$- 2,12) \cdot 10^{-5} = 7,34 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}; \quad \text{прогиб } \frac{f}{l} = S \cdot l_0^2 \cdot \frac{1}{\rho_c} = \frac{5}{48} \cdot 587^2 \cdot$$

$\cdot 7,34 \cdot 10^{-5} = 2,63$  см;

относительный прогиб равен:

$$\frac{f}{l} = \frac{2,63}{587} = \frac{1}{223} < \frac{1}{200} \text{ (табл. 2 СНиП [1])}, \text{ т.е. меньше до-}$$

пустимого.

### 6.3. Двускатная решетчатая балка

Исходные данные (рис.6.4), нагрузки, усилия

Крупнозернистый влакощелочной бетон М-400:  $R_{пр} = 15 \text{ МПа}$ ;  
 $R_{прТ} = 21 \text{ МПа}$ ;  $R_p = 1,2 \text{ МПа}$ ;  $R_{пр} = 1,8 \text{ МПа}$ ;  $E_s = 26,8 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ ;  
 $\epsilon_{прБ} = 240 \cdot 10^{-5}$ ;  $\tau = 28 \text{ сут}$ ;  $\theta = 70 \%$ ;  $t = 15^\circ\text{C}$ ;  $K_{И} = 0,72$   
 $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ ;  $K_{ИсБ} = 1,08 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ . Вид делочного компонента - плав делочей.  
 $\nu_0 = 0,81$ ;  $\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \eta^2} = 0,81 \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,49$ ;  $\nu_t = 0,15$ .

Напрягаемая арматура класса А-IV:

$R_a = 500 \text{ МПа}$ ;  $R_{аТ} = 600 \text{ МПа}$ ;  $E_a = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;  $\tau = 28 \text{ сут}$ ;  $\theta = 70 \%$ ;  
 $t = 15^\circ\text{C}$ ; механический способ натяжения на упоры; обычная арматура класса А-III:  $R_a = R_{аС} = 340 \text{ МПа}$ ;  $E_a = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;  $R_{аТ} = 270 \text{ МПа}$ ;  
температурный перепад  $\Delta t = 65^\circ\text{C}$ ; передаточная прочность по п.2  
Рекомендаций  $R_0 = 0,8 \cdot 40 = 320 \text{ МПа}$ ;  $R_{пр}^0 = 1,2 \cdot 0,815 = 14,4 \text{ МПа}$ ;  
 $R_{аТ}^0 = 0,8 \cdot 1,8 = 1,44 \text{ МПа}$ .

Двускатная балка по трещиностойкости относится к 3-й категории.

При шаге колонн 6 м нагрузки на балку см. [142].

Статический расчет двускатной решетчатой балки как многократно статически неопределимой системы выполнен на ЭВМ. Результаты расчета приведены в табл.4.3 [142].

Расчет нижнего пояса

#### 1) Расчет на прочность

Нижний пояс работает на внецентренное растяжение. Для расчета приняты две комбинации усилий: для стержня 5' - 4':  $M = 55,99 \text{ кНм}$ ;  
 $M_{аИ} = 26,98 \text{ кНм}$ ;  $N = 1070,6 \text{ кН}$ ;  $N_{аИ} = 699,45 \text{ кН}$ ; для стержня  
5' - 6':  $M = -29,89 \text{ кНм}$ ;  $M_{аИ} = -13,51 \text{ кНм}$ ;  $N = 1119,41 \text{ кН}$ ;  
 $N_{аИ} = 725,22 \text{ кН}$ ;  $b \times h = 28,36 \text{ см}$ ; эксцентриситеты:  $e_0 = \frac{M}{N}$   
 $= \frac{55,99}{1070,6} = 0,052 \text{ м} = 5,2 \text{ см}$ ;  $e_0 = \frac{M}{N} = \frac{29,89}{1119,41} = 0,027 \text{ м}$   
 $= 2,7 \text{ см}$ ; случай I внецентренного растяжения (силы приложены между равнодействующими усилий в арматуре).

Эксцентриситеты относительно центров тяжести арматуры при

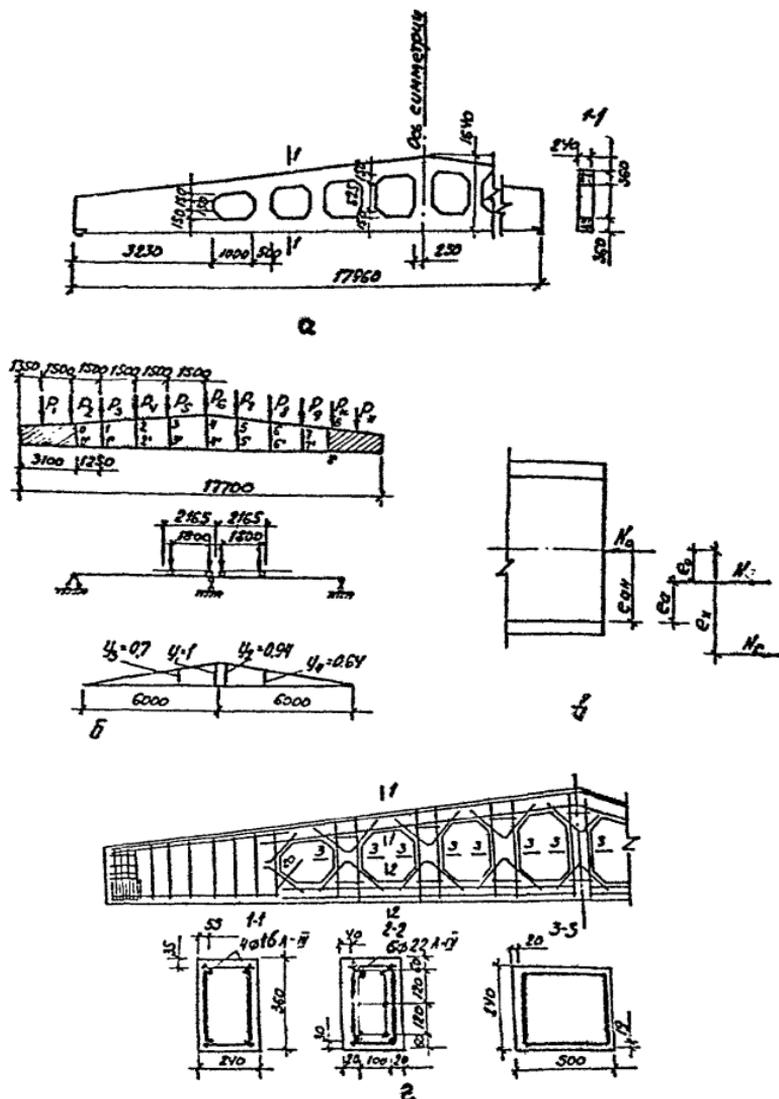


Рис. 6.4. Двускатная решетчатая балка: а - опалубочный чертеж решетчатой балки; б - расчетная схема решетчатой балки; в - к расчету нижнего пояса решетчатой балки; г - армирование

$$I_0 = 24,0 \text{ см (рис. 4.4, г): } e = \frac{h_0 - a}{2} = e_0 = \frac{24}{2} = 12 - 5,2 = 6,8 \text{ см;}$$

$$e' = \frac{h_0 - a'}{2} + e_0 = 12 + 5,2 = 17,2 \text{ см; } e = 12 - 2,7 = 9,3 \text{ см;}$$

$$e' = 12 + 2,7 = 14,7 \text{ см.}$$

Сечение арматуры подбираем из условий (41) Рекомендаций по максимальным эксцентриситетам:  $F_N = \frac{Ne}{R_N(h_0 - a')} = \frac{1070,61 \cdot 10^3 \cdot 17,2}{500 \cdot (30 - 6) \cdot (100)} = 15,35 \text{ см}^2$ ;

$$F_N' = \frac{N \cdot e}{R_N(h_0 - a')} = \frac{1070,61 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{50(30 - 6) \cdot (100)} = 6,07 \text{ см}^2.$$

Общее сечение предварительно-напряженной арматуры в нижнем поясе будет равно  $F_N = 15,35 \text{ см}^2 + 6,07 \text{ см}^2 = 21,42 \text{ см}^2$ . Принимаем 6  $\varnothing$  22 А-IV с  $F_N = 22,81 \text{ см}^2$  по 2  $\varnothing$  22 А-IV в каждом ряду (рис. 6.4, г). Для случая I равномерно можно распределять арматуру по сечению; ненапрягаемую арматуру принимаем конструктивно из прерывистых каркасов, которую не учитываем в расчете.

Сечение бетона необходимо проверять на прочность для стадии обжатия на усилие  $N_{01} = \sigma_{01} \cdot F_N$ .

Начальное предварительное напряжение назначаем  $\sigma_{НК} = \frac{R_{нп}}{1,05} = \frac{600}{1,05} = 570 \text{ МПа}$ .

Потери предварительного напряжения определяем по табл. I Рекомендаций: от релаксации напряжений арматуры  $\sigma_1 = 0,1 \sigma_{НК} = 20 = 0,1 \cdot 570 = 20 = 37 \text{ МПа}$ ; от температурного перепада  $\sigma_2 = 1,25 = 1,25 \cdot 65 = 81, \text{ МПа}$ ; от деформаций анкеров при расстояниях между анкерными приспособлениями  $l = 18 + 2 = 20 \text{ см}$ ;  $\sigma = \frac{\lambda}{l} E_N = \frac{2}{20000} \cdot 2 \cdot 10^5 = 20 \text{ МПа}$ .

Предварительно первые потери равны  $\sigma_{н1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 37 + 81 + 20 = 138, \text{ МПа}$  и соответственно  $\sigma_{01} = \sigma_{НК} - \sigma_{н1} = 570 - 138 = 432 \text{ МПа}$ ;

$N_{01} = \sigma_{01} \cdot F_N = 432 \cdot 22,81(100) = 985,39 \text{ кН}$ ; при  $\eta_N = \frac{E_N}{E_D} = \frac{2 \cdot 10^5}{0,268 \cdot 10^5} = 7,46$ ;  $F_{01} = b \cdot h + \eta_N \cdot F_N = 24 \cdot 36 + 7,46 \cdot 22,81 = 1034,1 \text{ см}^2$ ;

$\sigma_{01} = \frac{N_{01}}{F_{01}} = \frac{985,39 \cdot 10^3}{1034,1(100)} = 9,53 \text{ МПа} \leq 0,6 R_0 = 0,6 \cdot 32,0 = 19,2$

МПа, т.е. требование п. I, 8 в табл. 3 Рекомендаций выполняется.

Потери от быстронарастающей ползучести при  $\eta_N = \frac{\sigma_{01}}{R_0} =$

$$= \frac{9,23}{32} = 0,3 < 0,5 \text{ составят } \sigma_6 = 85; \eta = 85 - 0,3 = 25,5 \text{ МПа;}$$

$$\text{итого: } \sigma_{н1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 = 138 + 25,5 = 163,5 \text{ МПа; } \sigma_{от} = 570 -$$

$$- 163,5 = 406,5 - 22,81(100) = 927,2 \text{ кН; } \sigma_{от} = \frac{N_{от}}{F_{от}} = \frac{927,2 \cdot 10^3}{1034,1(100)}$$

$$= 8,97 \text{ МПа.}$$

Вторые потери: от усадки бетона  $\sigma_8 = 50$  МПа; от ползучести

$$\text{при } \eta = \frac{\sigma_{от}}{R_0} = \frac{8,97}{32} = 0,28 < 0,5 \text{ определяем по формуле } \sigma_9 =$$

$$= \frac{\sigma_{от}}{R_0} \varphi = 85\eta. \text{ где } \mu_n = \frac{F_n}{b \cdot h_0} = \frac{22,81}{24,30} = 0,946; \gamma = 1 \text{ при}$$

центральном сжатии;  $\mu_n = 7,46; \varphi = 1 - e^{-\frac{1}{1 + \mu_n} \frac{\rho_1}{\rho_2} \gamma m} = e^{-\alpha};$

$$\varphi_m = \varphi_m^n \cdot K_1^n \cdot K_2^n \cdot K_4^n \cdot K_{от} = 5,5 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 4,5; \text{ модуль от}$$

$$\text{крытой поверхности нижнего пояса } M = \frac{2(b+h)}{b \cdot h} = \frac{2(24+36)}{24 \cdot 36}$$

$$= 0,139; \text{ по интерполяции значений п.3 табл.2.2 прил.2 } K_2^n = 0,85 +$$

$$+ 0,15 \frac{29}{100} = 0,91; \text{ коэффициенты } K_1^n, K_2^n, K_4^n \text{ принимаются по}$$

табл. 2.2 прил.2,  $K_{от}$  - по табл.2,  $\varphi_m$  - по табл.2.1 Рекомен-

$$\text{даций. } \gamma = 1 + 0,5 \varphi_m = 1 + 2,25 = 3,25; \alpha = \frac{\mu_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1}{1 + \mu_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1} \gamma \varphi_m =$$

$$\varphi_m = \frac{7,46 \cdot 0,0316 \cdot 1}{1 + 7,46 \cdot 0,0316 \cdot 1 \cdot 3,25} \cdot 4,5 = 0,6; \varphi = 1 - e^{-\alpha} = 1 - e^{-0,6} =$$

$$= 0,451 \text{ (по табл.2.4 прил.2). } \sigma_9 = \frac{8,97}{0,0316 \cdot 1} \cdot 0,451 = 85 \cdot 0,28 =$$

$$= 104,2 \text{ МПа; итого, вторые потери } \sigma_{п2} = 50 + 104,2 = 154,2 \text{ МПа;}$$

$$\text{полные потери } \sigma_n = \sigma_{п1} + \sigma_{п2} = 163,5 + 154,2 = 317,7 \text{ МПа; } \sigma_0 =$$

$$= \sigma_{нн} - \sigma_n = 570 - 317,7 = 252,3 \text{ МПа; при } m_r = 1 \text{ } N_0 = m_r \sigma_0 F_n =$$

$$= 1 \cdot 252,3 \cdot 22,81(100) = 575,5 \text{ кН.}$$

2) Расчет на образование трещин.

Расчет относительно центра тяжести сжатой зоны.

Расчет производим на действие расчетных нагрузок при  $\eta = 1$  по двум комбинациям:

$$\text{для стержня } 5' - 4': M^n = 46,93 \text{ кНм; } M_{от}^n = 23,51 \text{ кНм; } N^n =$$

$$= 899,02 \text{ кН; } N_{от}^n = 610,25 \text{ кН; эксцентриситеты } C_0 = 5,2 \text{ см и}$$

$$C_{от} = \frac{22,51}{610,25} = 0,038 \text{ м} = 3,8 \text{ см; для стержня } 5' - 6': M^n =$$

$$= 25,04 \text{ кНм; } M_{от}^n = 11,76 \text{ кНм; } N^n = 939,96 \text{ кН; } N_{от}^n = 632,72$$

$$\text{кН; } C_0 = 2,7 \text{ см; } C_{от} = \frac{11,76}{632,72} = 0,018 \text{ м} = 1,8 \text{ см; } W_r = U_0 b h^2 =$$

$- 0,35bh^2 = 0,35 \cdot 24 \cdot 36^2 = 10886,4 \text{ см}^3$ ;  $e_0 = 0$ ; высоту сжатой зоны определяем из условия (50) п.4.4 Рекомендаций по формуле

$$\lambda_T = h - \frac{b \cdot h^2}{2 F_{\text{оп}} + \frac{N_{\text{с}}}{R_{\text{с}}}} = 36 - \frac{24 \cdot 36^2}{\frac{1034,1}{0,486} + \frac{575,5 \cdot 10^3}{1,8(100)}} = 30,1 \text{ см};$$

$M_T = R_{\text{с}} \cdot W_T + N_0 \left( e_0 + \frac{h}{2} - \frac{1}{3} X_T \right) = 1,8 \cdot 10886,4(100) + 575,5 \cdot 10^3 \left( 0 + \frac{36}{2} - \frac{1}{3} \cdot 30,1 \right) = 19,6 + 46 = 65,64 \text{ кНм}$ ; изгибающие моменты от внешней нагрузки составляют:

Для первой комбинации нагрузок (стержень 5' - 4'): от полной нагрузки  $M_6^N = N^N \left( C_0 + \frac{h}{2} - \frac{1}{3} X_T \right) = 899,02 \left( 0,052 + \frac{0,36}{2} - \frac{1}{3} \cdot 0,301 \right) = 118,67 \text{ кНм}$ ; от длительной нагрузки  $M_{\text{дол}}^N = 610,25 \cdot (0,038 + 0,08) = 72,01 \text{ кНм}$ ; для второй комбинации нагрузок (стержень 5' - 6'): от полной нагрузки  $M_6^N = 939,96 \cdot (0,027 + 0,08) = 100,58 \text{ кНм}$ ; от длительной нагрузки  $M_{\text{дол}}^N = 632,72 (0,018 + 0,08) = 62,0 \text{ кНм}$ .

Так как  $M_6^N = 118,67 > M_T = 65,64 \text{ кНм}$  и  $M_{\text{дол}}^N = 72,01 > M_T = 65,64 \text{ кНм}$ , то трещины образуются при кратковременных и длительных нагрузках.

Из условия обеспечения трещиностойкости подбираем сечение напрягаемой арматуры из условия  $M_6^N = 118,67 > M_T = R_p W_T + N_0 (0 + 0,08) = 19,6 + F_N \cdot \sigma_0 \cdot 0,08$ ;

$$F_N \Rightarrow \frac{(118,07 - 19,6) \cdot 10^3}{0,08 \cdot 252,3 \cdot (100)} = 49,08 \text{ см}^2, \text{ если принять } 8 \text{ } \varnothing 28 \text{ А-IV}$$

с  $F_N = 49,26 \text{ см}^2$ , то трещины не возникнут.

### 3) Расчет на раскрытие трещин

$N^N = 899,02 \text{ кН}$ ;  $N_{\text{дол}}^N = 610,25 \text{ кН}$ ;  $F_N = 22,81 \text{ см}^2$ ;  $C_0 = 5,2 \text{ см}$ ;  $C_{\text{эф}} = 3,8 \text{ см}$ ;  $\sigma_0 = 252,3 \text{ МПа}$ ; приращение напряжения от полного усилия

$$\text{определяем по формуле } \Delta \sigma_N = - \sigma_0 + \frac{N^N}{F_N} + \frac{N^N C_0}{W_N} = - 252,3 + \frac{899,02 \cdot 10^3}{22,81} + \frac{899,02 \cdot 10^3 \cdot 5,2}{182,4(100)} = - 252,3 + 394,3 + 256,3 =$$

$$= 398,1 \text{ МПа} < R_N = 500 \text{ МПа}; W_N = F_N \cdot z_0 = \frac{22,81}{3} \cdot 24 =$$

$$= 182,4 \text{ см}^3; \text{ от длительной нагрузки } \Delta \sigma_{\text{дол}} = - \sigma_0 + \frac{N_{\text{дол}}^N}{F_N} +$$

$$+ \frac{N_{\text{дол}}^N C_0}{W_N} = - 252,3 + \frac{610,25 \cdot 10^3}{22,81(100)} + \frac{610,25 \cdot 10^3 \cdot 3,8}{182,4(100)} =$$

$$\begin{aligned}
 &= -252,3 + 267,5 + 127,1 = 142,3 \text{ МПа}; \quad \mu_n = \frac{1}{2} \frac{F_n}{b \cdot h} = \frac{10 \cdot 22,81}{24 \cdot 36} \\
 &= 0,0088; \quad a_{ГДЛ} = K \cdot C_0 \cdot \eta \cdot \frac{K_{ГДЛ}}{E_n} (3,5 - 100 \mu_n) \sqrt{\Delta} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot \\
 &\cdot \frac{142,3}{2 \cdot 10^5} (3,5 - 100 \cdot 0,0088) \sqrt{22} = 0,0235 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм}; \quad \Delta a_{ГДЛ} \\
 &= 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \frac{398,1}{2 \cdot 10^5} - \frac{142,3}{2 \cdot 10^5} (3,5 - 100 \cdot 0,0088) \sqrt{22} = 0,0338 \text{ мм}; \\
 &a_{ГДР} = a_{ГДЛ} + \Delta a_{ГДР} = 0,0235 + 0,0338 = 0,0573 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм}; \\
 &\text{условие выполняется.}
 \end{aligned}$$

Критическая ширина раскрытия трещины по усилию в соответствии с п.4.7 Рекомендаций:  $\Delta N_n = [\sigma_n - (\sigma_0 + \frac{\eta_n}{\gamma} R_{pH}) F_n] = [398,1 - (252,3 + \frac{7,46}{0,49} \cdot 1,8) \cdot 22,81(100) = 270,1 \text{ кН}; a_{ГДР} = K \cdot C_0 \cdot \eta \cdot \frac{1 - \mu_n}{\gamma \cdot E_n} \cdot \frac{K_{ГДЛ} \cdot \Delta N_n}{R_{pH}^2 \cdot \Delta N_n} = 5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \frac{(1 - 0,0088) \cdot 1,08^4 \cdot 0,24 \cdot 10^9}{0,49 \cdot 2,68 \cdot 10^4 \cdot 1,8^2 \cdot 270,1 \cdot 10^3} = \frac{1,88}{15,49} = 0,16 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм};$  при длительной нагрузке  $\Delta N_n < 0$ ; раз-

мерность:  $a_T = \frac{M \cdot (M \text{Па} \cdot \text{м}^{7/2})^4}{M \text{Па} \cdot M \text{Па}^2 \cdot \text{н}} = \frac{M \cdot M \text{Па}^4}{M \text{Па}^3 \cdot \frac{M \text{Па} \cdot \text{м}^4}{10^6}} = 10^6 \text{ м} = 10^9 \text{ мм}.$

Расчет верхнего пояса

Верхний пояс работает на внецентричное сжатие:  $b \cdot h = 24 \times 36 \text{ см}; a = a' = 3,5 \text{ см}; h_0 = h - a = 36 - 3,5 = 32,5 \text{ см};$  усилия: стержни 5 - 4:  $M = 60,14 \text{ кНм}; N = 1070,1 \text{ кН}; M_{0n} = 29,39 \text{ кНм}; N_{0n} = 699,94 \text{ кН};$  стержни 5 - 6:  $M = -28,59 \text{ кНм}; N = 1115,61 \text{ кН}; M_{0n} = -13,08 \text{ кНм}; N_{0n} = 727,37 \text{ кН};$  эксцентриситеты:  $C_{0n} = \frac{M}{N} = \frac{60,14}{1070,1} = 0,056 \text{ м} = 5,6 \text{ см}; C_{00n} = \frac{29,39}{699,94} = 4,2 \text{ см}; C_{0n} = \frac{28,59}{1116,16} = 0,026 \text{ м} = 2,6 \text{ см}; C_{00n} = \frac{13,08}{727,37} = 0,018 \text{ м} = 1,8 \text{ см};$  случайный эксцентриситет  $C_{0сл} = \frac{1,5}{600} = 0,25 \text{ см};$   $\frac{h}{30} = \frac{36}{30} = 1,2 \text{ см};$  1 см. Так как  $C_{0сл} 1,2 \text{ см}, C_0 = C_{0n} + C_{0сл} = 6,8 \text{ см}; 5,4 \text{ см}; 3,8 \text{ см}; 3,0 \text{ см};$  моменты относительно растянутой арматуры  $M_0 = M + N \cdot \frac{h_0 - a'}{2} = -(28,59 + 1115,61 \cdot \frac{32,5 - 3,5}{2}) = -190,35 \text{ кНм}; M_1 = M_{0n} + N_{0n} \cdot \frac{h_0 - a'}{2} = -(13,08 + 727,37 \cdot 0,145) = -118,55 \text{ кНм}. \text{ Так как } 0,77 M_{0n} = 0,77 \cdot 190,35 =$

$= 146,57 > M_1 = 118,55$  кНм, то производим расчет по случаю "б" (см. п. 3.20 СНиП [1]), т.е. на действие всех нагрузок, принимая

$R_{np}' = R_{np} \cdot m_{R'} = 15 \cdot 1,1 = 16,5$  МПа; при  $C_0 = 5,8$  см  $> \frac{36}{8} = 4,5$  см принимаем  $l_0 = 0,8l = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2$  м, то же из плоскости при расстоянии между точками закрепления 3 м  $l_0 = 0,9 \cdot l = 0,93 = 2,7$  м (см. табл. 33 [1]); так как гибкость  $\lambda = \frac{l_0}{h} = \frac{120}{36} = 3,33 < 10$  или  $\lambda = \frac{l_0}{z} = \frac{120}{0,289 \cdot 36} = 11,5 < 14$ , то влияние прогиба не учитываем, т.е. принимаем  $\eta = 1$ ; по длине пояса изгибающий момент меняет знак, армирование принимаем симметричным; определяем:  $\xi_0 = 0,9 - 0,008 R_{np} = 0,9 - 0,08 \cdot 16,5 = 0,768$ ;  $R_{ac} = E_{mb} E_0 = 240 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5 = 480$  МПа  $> R_{ac} = R_a = 340$  МПа;

$\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_0}{R_{ac}} (1 - \frac{\xi_0}{1,1})} = \frac{0,768}{1 + \frac{340}{340} (1 - \frac{0,768}{1,1})} = 0,59$ ;  $A_R = \xi_R (1 - 0,4 \xi_R) = 0,59 (1 - 0,4 \cdot 0,59) = 0,45$ ;  $e = c_0 \eta + 0,5h - a = 5,6 \cdot 1 + 0,5 \cdot 36 - 3,5 = 20,1$  см;  $e = c_0 \eta + 0,5h - a = 2,6 + 0,5 \cdot 36 - 3,5 = 17,1$  см;  $\xi = \frac{N}{R_{np} \cdot b \cdot h} = \frac{1070100}{15 \cdot 24 \cdot 32,5 (100)} = 0,915$ ;  $\xi = \frac{N}{R_{np} \cdot b \cdot h} = \frac{1115610}{15 \cdot 24 \cdot 32,5 (100)} = 0,954$ ;  $C_0 = 5,6$  см  $< 0,3 \cdot h_0 = 0,3 \cdot 32,5 = 9,75$  см. Так как  $\xi > \xi_R$ ,  $C_0 < 0,3 h_0$ , то все сечение будет схато. В этом случае сечения арматуры с обеих сторон определяем по формуле

$F_a = F_a' = \frac{N e - A_R b h_0^2 R_{ac}}{R_a (h_0 - a')} = \frac{1070100 \cdot 20,1 - 0,473 \cdot 24 \cdot 32,5^2 \cdot 15 (100)}{340 \cdot (32,5 - 3,5) \cdot (100)} = 3,57$  см<sup>2</sup>;  $F_a = F_a' = \frac{1115610 \cdot 17,1 - 0,473 \cdot 24 \cdot 32,5^2 \cdot 15 (100)}{340 \cdot (32,5 - 3,5) \cdot (100)} = 1,1$  см<sup>2</sup>; принимаем с каждой стороны сечения пояса по 2  $\emptyset$  16 АШ с  $F_a = F_a' = 4,02$  см<sup>2</sup> из конструктивных соображений.

Несущую способность верхнего пояса из плоскости балки проверим на действие продольной силы  $N = 1115,61$  кН, приложенной со случайным эксцентриситетом (см. прил. 2 СНиП [1]);  $\alpha = \frac{R_{ac} \cdot F_a}{R_{np} \cdot F} = \frac{340 \cdot 2 \cdot 4,02}{15 \cdot 24 \cdot 36} = 0,211$ ;  $\frac{l_0}{b} = \frac{270}{24} = 11,25$  и  $\frac{N_{0a}}{N} =$

$= \frac{727,27}{1115,61} = 0,65$ ; по табл. 1 и 2 СНиП [1]  $\psi_{\text{с}} = 0,87$ ;  $\psi_{\text{ж}} = 0,89$ ;  $\psi = \psi_{\text{с}} + 2(\psi_{\text{ж}} - \psi_{\text{с}})\alpha = 0,87 + 2(0,89 - 0,87) \cdot 0,211 = 0,878$ .  $N_{\text{сеч}} = \pi \psi (R_{\text{пр}} F + R_{\text{ас}} F_{\text{а}}) = 1 \cdot 0,878 (15 \cdot 24 \cdot 36 + 340 \cdot 2 \cdot 4,02)(100) = 1377898 \text{ Н} = 1377,9 \text{ кН} > N = 1115,61 \text{ кН}$ ; прочность обеспечена.

#### Расчет стоек

Стойка 4 - 4' работает на внецентренное растяжение при усилиях:  $N = 61,61 \text{ кН}$ ,  $M = 23,98 \text{ кНм}$ ;  $N = 54,42 \text{ кН}$ ,  $M = 415,44 \text{ кНм}$ . Рассчитывается как нижний пояс с обычной арматурой. Все остальные стойки работают на внецентренное сжатие:  $M_{\text{макс}} = 46,76 \text{ кНм}$  при  $N = 25,44 \text{ кН}$  в стойке 7 - 7';  $M_{\text{макс}} = 50,59 \text{ кНм}$  при  $M = 18,6 \text{ кНм}$  в стойке 5 - 5'. Их расчет производится как верхнего пояса.

#### Расчет прочности наклонного сечения

В пропорных сечениях балки действуют большие поперечные силы. Величины этих усилий на более нагруженной левой опоре с краевой нагрузкой (рис. 6.4.6) известны [142]. Размеры сечения у грани опоры  $b \times h = 24 \cdot 91 \text{ см}$ ;  $h_0 = h - a = 91 - \frac{36}{2} = 73 \text{ см}$ ; при  $h > 800$   $\phi_{\text{с}} \geq 8 \text{ мм}$ ; так как  $Q = 295,91 \text{ кН} < 0,35 R_{\text{пр}} b h_0 = 0,35 \cdot 15 \cdot 24 \cdot 73 (100) = 919,8 \text{ кН}$ , то размеры сечения достаточны;  $Q = 295,91 \text{ кН} > K_1 R_{\text{пр}} b h_0 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 73 (100) = 105,12 \text{ кН}$ . необходима поперечная арматура по расчету.

Требуемую несущую способность поперечных стержней определим из условия (76) СНиП [1]:  $\rho_{\text{стр}} = \frac{Q^2}{4K_1 R_{\text{пр}} b h_0} = \frac{(295,91 \cdot 10^3)^2}{4 \cdot 1,75 \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 73^2 (100)} = 815,05 \text{ Н/см} < \frac{R_{\text{с}} b}{2} = \frac{1,2 \cdot 24 (100)}{2} = 140 \text{ Н/см}$ , принимаем

$\rho_{\text{стр}} = 140 \text{ Н/см}$ ; максимальный шаг стержней определяем по формуле  $U_{\text{макс}} = \frac{0,75 \cdot K_1 \cdot R_{\text{с}} \cdot b \cdot h_0^2}{Q} = \frac{0,75 \cdot 1,75 \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 73^2 (100)}{295,91 \cdot 10^3} = 68,07 \text{ см}$ .

По конструктивным соображениям  $U_{\text{к}} \leq 50 \text{ см}$ ;  $U_{\text{к}} \leq 2 \cdot b = 2 \cdot 24 = 48 \text{ см}$ ; при  $h > 450$ :  $U_{\text{к}} \leq \frac{h}{3} = 91/3 = 30 \text{ см}$ ;  $U_{\text{к}} \leq 500$ ;

принимая  $U_x = 30$  см;  $n_k = 2$ ;  $f_{ктр} = \frac{1440 \cdot 30}{270 \cdot 2 \cdot (100)} = 0,8 \text{ см}^2$ ;

принимая  $\varphi_x$  12 А-III с  $f_{ax} = 1,13 \cdot 1 \text{ см}^2$ ; проверяем

$$q_x = \frac{R_{ax} \cdot n_k \cdot f_x}{U_x} = \frac{270 \cdot 2 \cdot 1,13 \cdot (100)}{30} = 2035 \text{ в Н/см} > 1440$$

$$\text{Н/см}; Q_{кд} = 2\sqrt{k_x \cdot b \cdot h^2 \cdot R_p \cdot q_x} = 2\sqrt{1,75 \cdot 24 \cdot 73^2 \cdot 1,2 \cdot 2035,8(100)} = 467,7 \text{ кН} > Q = 295,91 \text{ кН}; \text{прочность наклонного сечения обеспечена, и требования СНиП [I] выполнены.}$$

### Расчет опорного наклонного сечения на образование трещин

Согласно п.2.30 СНиП [I] длина зоны передачи напряжений

$$L_{п.н} = (m_{п.н} \cdot \frac{\sigma_{п.н}}{R_0} + \Delta \lambda_{п.н}) d = (0,3 \cdot \frac{570}{320} - \frac{163,3}{10} + 10) \cdot 2,2 = 22,83 < 15 d = 1,5 \cdot 2,2 = 33 \text{ см, принимаем } L_{п.н} = 33 \text{ см.}$$

Приопорное сечение, трещиностойкость которого проверяется, находится на расстоянии  $L_x = 26$  см от торца балки, т.е. меньше длины передачи напряжения, то предварительное напряжение снижается путем умножения на коэффициент  $m_{аз} = \frac{L_x}{L_{п.н}} = \frac{26}{33} = 0,79$ .

Геометрические характеристики опорного сечения: приведенная площадь поперечного сечения  $F_{дп} = 24 \cdot 91 + (22,81 + 3,14) \cdot 7,46 = 2377,6 \text{ см}^2$ ; расстояние до центра тяжести  $y_n = \frac{0,5 \cdot 24 \cdot 91^2 + 22,81 \cdot 7,46 \cdot 18 + 3,14 \cdot 7,46 \cdot (91 - 18)}{24 \cdot 91 + (22,81 + 3,14) \cdot 7,46} = 43,8 \text{ см}$ ; момент инерции

$$J_{дп} = \frac{24 \cdot 91^3}{12} + 24 \cdot 91 \cdot (0,5 \cdot 91 - 43,8)^2 + [22,81 \cdot (43,8 - 18)^2 + 3,14 \cdot (91 - 43,8 - 18)^2] \cdot 7,46 = 1646693,0 \text{ см}^4. \text{ Момент сопротивления приведенного сечения для нижней грани равен } W_0 = \frac{J_{дп}}{y_n} = \frac{1646693,0}{43,8} = 37595,7 \text{ см}^3; \text{упругопластичный момент сопротивления}$$

$$r = 1,75; W_T = r \cdot W_0 = 1,75 \cdot 37595,7 = 65792,5 \text{ см}^3.$$

$$\text{Расстояние до ядровой точки } z_n = 0,8 \cdot \frac{W_0}{F_{дп}} = \frac{37595,7}{2377,6} = 12,65 \text{ см};$$

изгибающий момент в приопорном сечении от внешних нормативных

$$\text{нагрузок } M^N = 248,36 \cdot 0,13 = 32,29 \text{ кНм}; \text{усилие обжатия } N_0 =$$

$$= m_T \cdot m_{аз} (\sigma_{нк} - \sigma_n) \cdot F_N = 1,0 \cdot 0,79 (570 - 317,7) \cdot 22,81 =$$

$= 454,6 \text{ кН}$ , а эксцентриситет его приложения  $e_0 = y - a = 43,8 - 18 = 25,8 \text{ см}$ ; момент трещиностойкости  $M_T = R_{pII} W_t + N_0 (\chi_y + e_0) = 1,8 \cdot 65688,7 + 454,6 \cdot 10^3 (12,63 + 25,8) = 118,24 + 174,7 = 292,9 \text{ кНм} > M^* = 32,29 \text{ кНм}$ ; трещиностойкость обеспечена. Для определения необходимости <sup>расчета</sup> наклонного сечения по изгибающему сечению согласно п.3.39 СНиП [1] проверку трещиностойкости нормального приопорного сечения произведем на расчетный момент:  $M = 295,91 \cdot 0,13 = 38,47 \text{ кНм}$ , подставляя в формулу  $R_{pII} = 1,2 \text{ МПа}$ ;  $M_T = 1,2 \cdot 65688,7 (100) + 454,6 \cdot 10^3 \cdot (12,63 + 25,8) = 78,8 + 174,7 = 253,5 \text{ кНм} > M = 38,47 \text{ кНм}$ , трещины не образуются.

Для расчета наклонного сечения по образованию трещин от главных растягивающих напряжений находим: статический момент части сечения, расположенной выше центра его тяжести  $S_n = 24(91 - 43,8)^2 \cdot 0,5 = 26734,1 \text{ см}^3$ ; касательные напряжения на уровне центра тяжести  $\tau = \frac{Q \cdot S_n}{J_{ox} \cdot b} = \frac{248360 \cdot 26734,1}{1644094,3 \cdot 24(100)} = 1,683 \text{ МПа}$ ; нормальные напряжения на том же уровне  $\sigma_x = -\frac{N_0}{F_{ox}} + \frac{N_0 \cdot e_0}{J_{ox}} y - \frac{M}{J_{ox}} y = -\frac{454,6 \cdot 10^3}{2377,6(100)} + 0 - 0 = -1,91 \text{ МПа}$ ; главные растягивающие и сжимающие напряжения  $\sigma_{\pm} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2})^2 + \tau^2} = -\frac{1,91 + 0}{2} \pm \sqrt{(\frac{1,92 - 0}{2})^2 + 1,683^2} = -0,955 \pm 1,938 = \frac{0,983}{-2,893} \text{ МПа}$ , т.к.  $\sigma_{cs} = -2,893 \text{ МПа} < m \cdot R_{pII} = 0,5 \cdot 21 = 10,5 \text{ МПа}$ , то должно соблюдаться и условие  $\sigma_{cp} = 0,983 \text{ МПа} < R_{pII} = 1,8 \text{ МПа}$ ; наклонные трещины не образуются.

#### 6.4. Безраскосная ферма

##### Исходные данные

Для расчета применяется треугольная форма по серии 1.863-I, вып.1, пролетом 18 м (рис.6.5) из шлакощелочного тяжелого крупнозернистого бетона М 400, подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении. Его основные характеристики:  $R_{пр} = 15,0$  МПа;  $R_p = 1,2$  МПа;  $K_{тс} = 0,72$  МПа · м<sup>1/2</sup>;  $R_{сц} = 3,7$  МПа;  $R_{прп} = 21,0$  МПа;  $R_{рп} = 1,8$  МПа;  $K_{тсп} = 1,08$  МПа · м<sup>1/2</sup>;  $R_{сцп} = 5,5$  МПа;  $E_c = 2,68 \cdot 10^4$  МПа;  $\epsilon_{тс} = 240 \cdot 10^{-5}$ ;  $\nu_0 = 0,81$ ;  $\nu_t = 0,15$ ;  $\theta = 70\%$ ;  $t = 15^\circ\text{C}$ ;  $m_{сг} = 0,8$ ;  $T = 28$  сут; вид щелочного компонента - содопоташная смесь.

Напрягаемая арматура нижнего пояса из стали класса А-У:

$R_H = 640$  МПа;  $R_{HII} = 800$  МПа;  $E_H = 1,9 \cdot 10^5$  МПа; обычная арматура из класса А-III:  $R_a = R_{ас} = 340$  МПа;  $E_a = 2 \cdot 10^5$  МПа, механический способ натяжения на упоры; перепад температур  $\Delta t = 65^\circ\text{C}$ ;  $R_0 = 0,80 \cdot R = 320$  МПа;  $R_{пр}^0 = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 15 = 14,4$  МПа;  $R_{прп}^0 = 0,8 \cdot R_{прп} = 0,8 \cdot 21 = 16,8$  МПа;  $R_{рп}^0 = 0,8 \cdot R_{рп} = 0,8 \cdot 18 = 14,4$  МПа (табл.11,13,15 [1]):

Нижний пояс 3-й категории трещиностойкости: по табл. 1, а СНиП [1]

$a_{т.кр.} = 0,4$  мм;  $a_{т.дл.} = 0,3$  мм.

При шаге ферм 6 м определяются нагрузки.

Угол наклона ската фермы меньше  $20^\circ$ ; нагрузку от снега принимаем по одному варианту по всему пролету (табл.5 [5]).

На ферму действует крановая нагрузка от подвесной кран-балки грузоподъемностью  $Q = 32$  кН. Эта нагрузка подвешена к узлам (рис.6, 5,6): груз слева (узлы 2 и 3), груз справа (узлы 5 и 6).

Внутренние усилия определены как для статически неопределимой системы с жесткими узлами на ЭЕМ "Минск-22" по программе "Марс-5", а также и расчетные сочетания усилий [142].



## Расчет нижнего пояса

### 1) Расчет на прочность

Нижний пояс работает на внецентренное растяжение. В качестве расчетных принимаем две комбинации усилий: стержень  $I_2: M=20,2 \text{ кНм}$ ;

$N = 549,8 < 550 \text{ кН}$ ;  $M_{\text{дл}} = 17,7 \text{ кНм}$ ;  $N_{\text{дл}} = 390 \text{ кН}$ ; стержень  $I_3$ :  
 $M = 57,8 \text{ кНм}$ ;  $N = 443 \text{ кН}$ ;  $M_{\text{дл}} = 39,8 \text{ кНм}$ ;  $N_{\text{дл}} = 337 \text{ кН}$ ; эксцентриситеты:  $C_0 = \frac{M}{N} = \frac{20,2}{550} = 0,037 \text{ м} = 3,7 \text{ см}$ ;

$C_0 = \frac{57,8}{443} = 0,13 \text{ м} = 13 \text{ см}$ ; по длине пояса изгибающий момент меняет знак, поэтому принимаем симметричное армирование; при первой комбинации продольное растягивающее усилие приложено между центрами тяжести арматур нижнего и верхнего рядов и все сечение растянуто (рис. 6,5,6). Для сечения запишем:

$a = a' = 3 \text{ см}$ ;  $h_0 = h - a = 24 - 3 = 21 \text{ см}$ ;  $Z_a = h_0 - a' = 21 - 3 = 18 \text{ см}$ ;  $e = 0,5 \cdot h - C_0 - a = 0,5 \cdot 24 - 3,7 - 3 = 5,3 \text{ см}$ ;  
 $e' = C_0 + 0,5 \cdot h - a' = 3,7 + 0,5 \cdot 24 - 3 = 12,7 \text{ см}$ .

Требуемые сечения арматуры определяем по формулам при  $m_{af} = 1,15$ :

$$F'_H = \frac{N \cdot e}{R_H \cdot m_{af} \cdot Z_a} = \frac{550000 \cdot 5,3}{640 \cdot 1,15 \cdot 18 \cdot (100)} = 2,2 \text{ см}^2;$$

$$F_H = \frac{N \cdot e'}{R_H \cdot m_{af} \cdot Z_a} = \frac{550000 \cdot 12,7}{640 \cdot 1,15 \cdot 18 \cdot (100)} = 5,27 \text{ см}^2;$$

Принимаем с каждой стороны по 3  $\emptyset 16 \text{ АУ}$  с  $F'_H = F_H = 6,03 \text{ см}^2$ . Их сумма 6  $\emptyset 16 \text{ АУ}$  равна  $\Sigma F_H = 12,06 \text{ см}^2$ .

Ненапрягаемую арматуру принимаем конструктивно из прерывистых каркасов, которую поэтому не учитываем в расчете.

Начальное контролируемое напряжение принимаем из условия

$$\sigma_{\text{нк}} + P = \sigma_{\text{нк}} + 0,05\sigma_{\text{нк}} < R_{\text{нп}} = 800 \text{ МПа, т.е.}$$

$$\sigma_{\text{нк}} \leq \frac{R_{\text{нп}}}{1,05} = \frac{800}{1,05} \approx 760 \text{ МПа.}$$

Потери предварительного напряжения определены по табл. I Рекомендаций: первые потери от релаксации напряжений арматуры

$$\sigma_1 = 0,1 \sigma_{нк} - 20 = 0,1 \cdot 760 - 20 = 56,0 \text{ МПа};$$

от температурного перепада  $\sigma_2 = 1,25 \Delta t = 1,25 \cdot 65 = 81,0 \text{ МПа};$

от деформации анкеров при длине напрягаемых стержней  $l = 18 + 2 = 20 \text{ м}.$

$$\sigma_3 = \frac{\lambda}{l} \cdot E_n = \frac{2}{20000} \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 19 \text{ МПа};$$

Предварительно:  $\sigma_n = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 56 + 81 + 19 = 156 \text{ МПа};$

$$\sigma_{от} = 760 - 156 = 604 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{от} = \sigma_{от} \cdot \Sigma F_n = 604 \cdot 12,06(100) = 728424 \text{ Н} = 728,42 \text{ кН};$$

$$\eta_n = \frac{E_n}{E_c} = \frac{19,5 \cdot 10^3}{2,68 \cdot 10^4} = 7,09;$$

$$F_{\delta n} = b \cdot h + \eta_n \cdot F_n = 22 \cdot 24 + 7,09 \cdot 12,06 = 613,5 \text{ см}^2;$$

$$\sigma_{\delta n} = \frac{N_o}{F_{\delta n}} = \frac{728420}{613,5(100)} = 11,87 \text{ МПа} < 0,6 \cdot R_o = 0,6 \cdot 32,0 =$$

$= 19,2 \text{ МПа}$  (табл. 3 Рекомендаций); потери от быстроснатекающей

ползучести при  $\eta_n = \frac{\sigma_{\delta n}}{R} = \frac{11,87}{32} = 0,37; \sigma_c = 0,85 \cdot 85 \cdot \eta_n =$

$= 15,73 \text{ МПа}.$  Итого первые потери:  $\sigma_{н1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_c = 156 + 15,73 =$

$= 171,7 \text{ МПа}; N_{о1} = \sigma_{от} \cdot \Sigma F_n = 588,3 \cdot 12,06(100) = 709489,8 \text{ Н} \approx$

$= 709,5 \text{ кН};$

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{N_{о1}}{F_{\delta n}} = \frac{709500}{613,5(100)} = 11,56 \text{ МПа}.$$

Вторые потери: от усадки бетона  $\sigma_s = 50 \text{ МПа};$  от ползу-

чести бетона при  $\eta_n = \frac{\sigma_{\delta 1}}{R_o} = \frac{11,56}{32} = 0,36$  по фор-

муле  $\sigma_s = \frac{\sigma_{\delta 1}}{\mu_n \cdot \rho} = 0,85 \cdot 85 \cdot \eta_n,$

где  $\mu_n = \frac{F_n}{b \cdot h_o} = \frac{12,06}{22 \cdot 21} = 0,261;$   $\rho_1 = 1$  при централь-

ном обхвате при  $e_o = 0; \varphi = 1 - e^{-\alpha}; \alpha = \frac{\eta_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1}{1 + \eta_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1} \cdot \varphi_m;$

$\varphi_m = \varphi_m^k \cdot K_1^k \cdot K_2^k \cdot K_3^k \cdot K_{\text{ощ}};$  по табл. 2.1 прил. 2:  $\varphi_m = 5,5;$

по табл. 2.2, прил. 2 Рекомендаций:  $K_1 = 1$  при  $T = 28 \text{ сут.};$

при  $M_o = \frac{2(b+h)}{b \cdot h} = \frac{2(22+24)}{22 \cdot 24} = \frac{92}{528} = 0,174;$

$$K_{II}^I = 0,85 + 0,15 \frac{74}{100} = 0,85 + 0,111 = 0,961 ;$$

$K_{IV}^I = 0,9$  ; по табл. 2 Рекомендации  $K_{сум} = 1,1$  при  $\theta = 70\%$  и ще -  
 лочном компоненте - содопоташной смеси;

$$\varphi_m(\tau) = 5,5 \cdot I \cdot 0,961 \cdot 0,9 \cdot 1,1 = 5,81 ; \delta = 1 + 0,5 \varphi_m(\tau) = 1 + 0,5 \cdot 5,81 =$$

$$= 3,905 ; \alpha = \frac{7,09 \cdot 0,0261 \cdot I}{1 + 7,09 \cdot 0,261 \cdot I \cdot 3,905} \cdot 5,81 = \frac{1,075}{1,72} = 0,625 ;$$
 по

табл. 24 прил. 2 Рекомендаций

$$1 - e^{-\alpha} = 1 - \frac{1}{e^{0,625}} = \frac{0,451 + 0,478}{2} = 0,4645 ;$$

$$\sigma_g = \frac{II,56}{0,0261 \cdot I} \cdot 0,4645 - 0,85 \cdot 85 \cdot 0,36 = 205573 - 26,01 =$$

$= 179,72$  МПа;  $\sigma_{II} = \sigma_g + \sigma_g = 50 + 179,72 = 229,72$  МПа; суммарные

потери:  $\sigma_{II} = \sigma_{II} + \sigma_{II} = 171,7 + 229,72 = 401,4$  МПа;  $\sigma_0 = \sigma_{НК} - \sigma_{II} =$

$= 760 - 401,4 = 358,6$  МПа. Проверим прочность при второй комбинации усилий, когда сила приложена за пределами расстояния между центрами тяжести нижней и верхней арматуры, т.е.  $c_0 = 13$  см >

$> \frac{Z}{2} a = \frac{48}{2} + 9$  см. В этом случае  $e = c_0 - 0,5h + a = 13 -$   
 $- 0,5 \cdot 24 + 3 = 4$  см;  $e' = c_0 + 0,5h - a' = 13 + 0,5 \cdot 24 - 3 = 22$  см

Вычисляем:  $\xi_0 = 0,9 - 0,008 \cdot R_{пр} = 0,9 - 0,008 \cdot 15 = 0,78$ ;

$$\sigma_A = R_H + R_{ac} - m_T \sigma_0 = R_H + \xi_{сб} E_H - m_T \sigma_0 = 640 + 240 \cdot 10^{-5}$$

$$1,9 \cdot 10^5 - 0,9 \cdot 358,6 = 773,26 \text{ МПа}; R_{ac} = \xi_{сб} R_H = 240 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^5 =$$

$$= 456 \text{ МПа}; \xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{R_{ac}} (1 - \frac{\xi_0}{1,1})} = \frac{0,78}{1 + \frac{773,26}{456} (1 - \frac{0,78}{1,1})} = 0,52;$$

$\sigma_c' = R_{ac} - m_T \sigma_0 = 456 - 1,1 \cdot 358,6 = 61,54$  МПа. Из условия  $\sum Z = 0$

$$N = R_H F_H m_{aA} - R_{ac} F_a' - \sigma_c' F_H' - R_{пр} b h_0 \xi \quad \text{находим } \xi =$$

$$= \frac{R_H F_H m_{aA} - \sigma_c' F_H' - R_{ac} F_a' - N}{b \cdot h_0 \cdot R_{пр}}$$

$$= \frac{(640 \cdot 6,03 \cdot 1,15 - 61,54 \cdot 6,03) \cdot (100) - 443000}{22 \cdot 21 \cdot 15 \cdot (100)} < 0 ; \text{ так как}$$

$\xi < 0$ , то проверку прочности производим по условию  $N \cdot e' <$

$$\leq R_n \cdot m_{a4} \cdot F_n \cdot z_a ; 443000 \cdot 22 = 9746000 \text{ Н} \cdot \text{см} >$$

$$> 640 \cdot 1,15 \cdot 6,03 \cdot 18(100) = 7986544 \text{ Нсм} = 79,9 \text{ кНм. Условие не со-}$$

блюдается для восприятия усилий второй комбинации. В связи с

этим из этого условия определяем требуемую площадь сечения напря-

$$\text{гаемой арматуры } F_n > \frac{N \cdot e'}{R_n \cdot m_{a4} \cdot z_a} = \frac{443000 \cdot 22}{640 \cdot 1,15 \cdot 18(100)} = 7,36 \text{ см}^2.$$

Принимаем 3Ф18 А-У с  $F_n = F_n' = 7,63 \text{ см}^2$ , а суммарная

$$\Sigma F_n = 15,26 \text{ см}^2. \text{ При таком армировании прочность нижнего пояса}$$

обеспечена и при второй комбинации усилий.

## 2) Расчет на образование трещин

Для расчета принимаем две комбинации нагрузок:

$$\text{стержень } И_2: M^H = 16,2 \text{ кНм}; N^H = 440 \text{ кН}; M_{дл}^H = 11,3 \text{ кНм};$$

$$N_{дл}^H = 312 \text{ кН}; \text{ эксцентриситеты: } C_0 = 3,7 \text{ см}; C_0 \text{ дл.} = 3,6 \text{ см};$$

$$\text{стержень } И_3: M^H = 46,2 \text{ кНм}; N^H = 354 \text{ кН}; M_{дл}^H = 31,8 \text{ кНм};$$

$$N_{дл}^H = 270 \text{ кН}; \text{ эксцентриситеты: } C_0 = 13,0 \text{ см}; C_0 \text{ дл.} = 11,8 \text{ см};$$

$$\text{геометрические характеристики: } F_{бп} = bh + n_n \Sigma F_n = 22 \cdot 24 + 7,09 \cdot 15,26 =$$

$$= 636,2 \text{ см}^2; J_{бп} = \frac{bh^3}{12} + n_n \Sigma F_n \left( \frac{z_a}{2} \right)^2 = \frac{22 \cdot 24^3}{12} + 7,09 \cdot 15,26 \cdot$$

$$\cdot 9^2 = 34107,7 \text{ см}^4; W_0 = \frac{J_{бп}}{0,5h} = \frac{34107,7}{0,5 \cdot 24} = 2842,3 \text{ см}^3;$$

$$W_T = \gamma \cdot W_0 = 1,75 \cdot 2842,3 = 4974,0 \text{ см}^3 \text{ при } \chi_T = 0,25h = 6 \text{ см}$$

$$(\text{см. п. 4.4 Рекомендаций}). M_T = R_{pII} W_T ; W_T = 0,45 \frac{b \cdot h^3}{3} + 0,9 \cdot$$

$$\cdot F_n \left( \frac{n_n}{W_{(II)}} + \frac{C_0}{R_{pII}} \right) - F_n \left( \frac{C_0}{R_{pII}} - \frac{n_n}{W_{(II)}} \cdot \frac{1 - 4\beta_n}{3} \right) (0,08h -$$

$$- a_n) = 0,45 \cdot 22 \cdot 24 + 0,9 \cdot 7,63 \left( \frac{7,09}{0,54(0,154)} + \frac{358,6}{1,8} \right) \cdot 24 -$$

$$- 7,63 \left( \frac{358,6}{1,8} - \frac{7,09}{0,54(0,154)} \cdot \frac{1 - 4 \cdot 3/24}{3} \right) (0,08 \cdot 24 - 3) =$$

$$= 5702,4 + 34996,98 + 1515,13 = 42214,5 \text{ см}^3 (44647,8);$$

$M_T = R_{\text{пл}} \cdot W_T = 1,8 \cdot 42214,5(100) = 76 \text{ кНм}$ . От внешней нагрузки :  
от полных нагрузок  $M_{\text{В1}}^{\text{Н}} = N^{\text{Н}}(C_{01} + h/2 - 1/3 X_T) = 440(0,037 +$   
 $+ 0,12 - \frac{1}{3} \cdot 0,06) = 60,3 \text{ кНм}$ ;  $M_{\text{В2}}^{\text{Н}} = N^{\text{Н}}(C_{02} + h/2 - 1/3 X_T) =$

$= 354(0,13 + 0,12 - 0,02) = 81,4 \text{ кНм}$ ; при длительных нагрузках

$M_T = R_{\text{пл}} \cdot W_{\text{Т.дл.}} = 1,8 \cdot 44647,8(100) = 80,37 \text{ кНм}$ ;  $M_{\text{В1}}^{\text{Н}} = N_{\text{дл}}^{\text{Н}}(C_{01} +$

$+ h/2 - 1/3 X_T) = 312(0,036 + 0,12 - 0,02) = 42,4 \text{ кНм}$ ;

$M_{\text{В2}}^{\text{Н}} = N_{\text{дл}}^{\text{Н}}(C_{02} + h/2 - 1/3 X_T) = 270(0,118 + 0,12 - 0,02) = 58,9 \text{ кНм}$

только при полной нагрузке второй комбинации трещиностойкость не обеспечена, т.е.  $M_T^{\text{Н}} = 76 \text{ кНм} < M_{\text{В2}}^{\text{Н}} = 81,4 \text{ кНм}$ .

### 3) Расчет на раскрытие трещин

Расчет производим для второй комбинации нагрузок:  $N_0 = 547,2 \text{ кН}$ ;

$N^{\text{Н}} = 354,0 \text{ кН}$ ;  $C_0 = 13 \text{ см}$ ;  $N_{\text{пл}}^{\text{Н}} = 270 \text{ кН}$ ;  $C_{0 \text{ дл}} = 11,8 \text{ см}$ ;  $\Delta \sigma_{\text{н}} =$   
 $= \frac{N_0}{F_{\text{н}}} + \frac{N^{\text{Н}}}{F_{\text{н}}} + \frac{N^{\text{Н}} \cdot C_0}{W_{\text{н}}} - \frac{547,2 \cdot 10^3}{15,26(100)} + \frac{354 \cdot 10^3}{15,26(100)} + \frac{354 \cdot 10^3 \cdot 13}{137,34 \cdot 18(100)} -$   
 $= \frac{7,09 \cdot 1,08}{0,49} = -358,6 + 232 + 335,1 - 2 \cdot 1,0 = 182,5 \text{ МПа}$ ;  $W_{\text{н}} = \frac{F_{\text{н}}}{2} Z_{\text{н}} =$

$= \frac{15,25}{2} 18 = 137,34 \text{ см}^3$ ;  $\Delta \sigma_{\text{кр}} = \frac{N_0}{F_{\text{н}}} + \frac{N_{\text{дл}}^{\text{Н}}}{F_{\text{н}}} + \frac{N_{\text{дл}}^{\text{Н}} \cdot C_{0 \text{ дл}}}{W_{\text{н}}} - \frac{n_{\text{н}} R_{\text{пл}}}{\gamma_t} =$

$+ \frac{270 \cdot 10^3}{15,26(100)} + \frac{270 \cdot 10^3 \cdot 11,8}{137,34} - \frac{7,09 \cdot 1,8}{0,15} = -358,6 + 176,9 + 232,0 - 85 <$

$< 0$ ;  $\mu_{\text{н}} = F_{\text{н}} / bh_0 = \frac{7,63}{22 \cdot 21} = 0,0165$ ;  $a_{\text{Т дл}} = K \cdot C_{\text{дл}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \frac{\Delta \sigma_{\text{н}}}{E_{\text{н}}}$ .

$\cdot 20(3,5 - 100 \mu_{\text{н}}) \sqrt[3]{d} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot \frac{50,3}{1,9 \cdot 10^5} \cdot 20(3,5 - 100 \cdot 0,0165) \cdot$

$\sqrt[3]{18} = 0,058 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм}$ ;  $a_{\text{Т.кр.}} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \frac{208,5 - 50,3}{1,9 \cdot 10^5} \cdot$

$\cdot 20(3,5 - 100 \cdot 0,0165) \sqrt[3]{18} = 0,145 \text{ мм}$ ;  $a_{\text{Т кр}} = a_{\text{Т дл}} + a_{\text{Т кр}} = 0,058 +$

$+ 0,145 = 0,203 < 0,4 \text{ мм}$ . Условие выполняется. Критическая ширина

раскрытия трещин равна при кратковременном действии всей на-

грузки:  $\Delta N_{\text{н}} = \Delta \sigma_{\text{н}} F_{\text{н}} = (\Delta \sigma_{\text{н}} - \frac{n_{\text{н}}}{\gamma} R_{\text{пл}}) F_{\text{н}} = 182,5$ .

$$\begin{aligned}
 & \cdot \frac{15,26}{2} \cdot (100) = 139,2 \text{ кН}; \Delta N_{\text{н дл}} = (\Delta \delta_{\text{н дл}} - \frac{\pi_{\text{н}}}{V_{\text{г}}} R_{\text{рII}}); F_{\text{н}} = \\
 & = (50,3 - \frac{7,09}{0,15} \cdot 1,8) 7,63 < 0 \text{ (трещины не образуются)}; \mu' = 0,342; \\
 & \nu = 0,49; a_{\text{ткр}} = K_i C_0 \eta \frac{[1 - \mu(\eta)] \cdot b \cdot K_{\text{гсI}}}{V \cdot E_{\text{г}} \cdot R_{\rho \text{II}}^2 \cdot \Delta N_{\text{н}}} = \\
 & = 5 \cdot 1,2 \cdot 1 \frac{(1 - 0,342^2) \cdot 0,22 \cdot 1,08^4 (10^9)}{0,49 \cdot 2,68 \cdot 10^4 \cdot 1,8^2 \cdot 139200} = 0,268 \text{ мм} < \\
 & < 0,4 \text{ м.}
 \end{aligned}$$

#### Расчет верхнего пояса.

Для расчета принимаем две комбинации нагрузок для стержней:

$$O_1: M = -46,7 \text{ кНм}; N = 570 \text{ кН}; M_{\text{дл}} = 41,5 \text{ кНм}; N_{\text{дл}} = 379 \text{ кН};$$

$$O_2: M = 74,3 \text{ кНм}; N = 430 \text{ кН}; M_{\text{дл}} = 52,5 \text{ кНм}; N_{\text{дл}} = 339 \text{ кН}.$$

$$A_R = \xi (1 - 0,4 \xi_R) = 0,647 (1 - 0,4 \cdot 0,647) = 0,48;$$

$$z_{\text{ср}} = h_0 (1 - 0,4 \xi_R) = h_0 U_R = 25 \cdot 0,74 = 18,5 \text{ см}; \Delta_{\text{гс}} = \frac{2 \cdot z_{\text{ср}}}{V \cdot E_{\text{г}} \cdot b \cdot \sin^2 \alpha}$$

$$= \frac{2 \cdot 18,5}{0,48 \cdot 0,268 \cdot 10^5 \cdot 22 \cdot 1^2} = \frac{37}{2,83} \cdot 10^{-5} = 13,07 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1};$$

$$\Delta_{\text{гх}} = \frac{4 d_x U_x}{E_{\text{ах}} \cdot f_{\text{ах}} \cdot n_x \cdot t_{\text{г}}^2 \cdot \alpha} = \frac{4 \cdot 0,6 \cdot 20}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,283 \cdot 2 \cdot 1^2} = \frac{48}{1,132} \cdot 10^{-5} =$$

$$= 42,4 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}; \text{ коэффициент жесткости } \xi = \frac{1}{\Delta_{\text{гс}} + \Delta_{\text{гх}}} =$$

$$= \frac{1}{(13,07 + 42,4) \cdot 10^{-5}} = \frac{1}{55,47} \cdot 10^5 = 0,018 \cdot 10^5 = 1,8 \cdot 10^3 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{кр}} = \frac{K \cdot V \cdot E_{\text{г}} \cdot J_{\text{бн}}}{l_0^2} = \frac{5,5 \cdot 0,48 \cdot 0,248 \cdot 10^5 \cdot 51582,7 (100)}{270^2} =$$

$$= \frac{36495,8 \cdot 10^5 (100)}{72900} = 5006282 \text{ Н} = 5006,3 \text{ кН}; K_c = \frac{1}{1 + \frac{N_{\text{кр}}}{E \cdot z_{\text{ср}}^2}} =$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{5006,3 \cdot 10^3}{1,8 \cdot 10^3 \left(\frac{22}{2}\right)^2 (100)}} = \frac{1}{1 + 0,23} = 0,813;$$

$$N_{\text{кр}} = N_{\text{кр}} \cdot K_c = 5006,3 \cdot 0,813 = 4070,1 \text{ кН}.$$

По формуле (58) СНиП [1] при коэффициенте 5,5 вместо 6,4:

$$K_{дл} = 1 + I \frac{89,8}{121,7} = 1,74; \quad t_{мин.} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01; \quad R_{пр} =$$

$$= 0,5 - 0,01 \frac{240}{28} - 0,01 \cdot 15 = 0,26; \quad t = \frac{C_0}{h} = \frac{8,2}{28} = 0,29 >$$

$$> 0,26 \text{ и } t = \frac{17,3}{28} = 0,62 > 0,26; \quad J_a = F_a \left( \frac{z_a}{2} \right)^2 =$$

$$= 12,56 \left( \frac{22}{2} \right)^2 = 1520 \text{ см}^4; \quad N_{кр} = \frac{5,5 \cdot E_0}{l_0^2} \left[ \frac{J_0}{K_{дл}} \left( \frac{0,11}{0,1 + K_H} + \right. \right.$$

$$+ 0,1) + \eta_a \cdot J_a \left. \right] = \frac{5,5 \cdot 0,268 \cdot 10^5 (100)}{240^2} \left[ \frac{40245,3}{1,76} \left( \frac{0,11}{1 + 0,29} + 0,1 \right) + \right.$$

$$+ 7,46 \cdot 1520 \left. \right] = 3987379 \text{ Н} = 3987,4 \text{ кН}; \quad \text{расхождение } \frac{4070,1 - 3987,4}{4070,1}$$

$$\cdot 100 = 2\%; \quad \eta = \frac{I}{I - \frac{N}{N_{кр}}} = \frac{I}{I - \frac{570000}{4070,1 \cdot 10^3}} = 1,16;$$

$$\eta = \frac{I}{I - \frac{430000}{4070,1 \cdot 10^3}} = 1,12; \quad \eta = 1 + \frac{f_m}{C_0} = 1 + \frac{1,95}{8,2} = 1,16;$$

$$f_m = \frac{1}{200} l_0 = \frac{1}{200} \cdot 270 = 1,35 \text{ см};$$

$$e = C_0 \eta + 0,5 h - a = 8,2 \cdot 1,16 + 14 - 3 = 20,5 \text{ см};$$

$$e = C_0 + 0,5 h - a = 17,3 \cdot 1,12 + 14 - 3 = 30,4 \text{ см};$$

$$F_a = F'_a = \frac{N \cdot e - A_R \cdot R_{пр} \cdot b \cdot h_0^2}{R_{ос} \cdot z_0} = \frac{580 \cdot 10^3 \cdot 20,5 - 0,48 \cdot 15 \cdot 22 \cdot 25^2}{340 \cdot 22(100)} =$$

$$= 2,4 \text{ см}^2;$$

$$F_a = F'_a = \frac{430 \cdot 10^3 \cdot 30,4 - 0,48 \cdot 15 \cdot 22 \cdot 25^2 (100)}{340 \cdot 22(100)} = 4,24 \text{ см}^2.$$

по конструктивным соображениям принимаем по 2  $\emptyset$  20 АIII с  $F_a = F'_a =$

$$= 6,28 \text{ см}^2;$$

$$A_0 = \frac{N \cdot e - R_{ос} \cdot F'_a \cdot z_0}{R_{пр} \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{570 \cdot 10^3 \cdot 20,5 - 340 \cdot 6,28 \cdot 22(100)}{15 \cdot 22 \cdot 25^2(100)} =$$

$$0,039 < A_R = 0,48;$$

$$A_0 = \frac{430 \cdot 10^3 \cdot 30,4 - 340 \cdot 6,28 \cdot 22(100)}{15 \cdot 22 \cdot 25^2(100)} = 0,406 < A_R = 0,48;$$

проверяем по второй комбинации

$$F_a = F'_a = \frac{N(e - h_0 + \frac{N}{2R_{пр}b})}{R_a \cdot z_0} = \frac{430 \cdot 10 \cdot (30,4 - 25 + \frac{430 \cdot 10^3}{2,15 \cdot 22(100)})}{340 \cdot 22(100)} =$$

$= 6,85 \text{ см}^2$ . Принимаем окончательно по 2  $\emptyset$  22 АШ с  $F_a = F'_a = 7,6 \text{ см}^2$

При расчете из плоскости фермы:

$$\alpha = \frac{R_{ас} \cdot F_a}{R_{пр} \cdot F} = \frac{340 \cdot 7,6 \cdot 2}{15 \cdot 22 \cdot 28} = 0,28 \cdot 2 = 0,56 ;$$

$$\lambda = \frac{l_0}{b} = \frac{270}{22} = 12,3; \quad \frac{N_{дл}}{N} = \frac{379}{570} = 0,66;$$

по прил. 2 СНиП [1]:  $\varphi_\delta = 0,88$ ;  $\varphi_M = 0,89$ .

$$\varphi = \varphi_\delta + 2(\varphi_M - \varphi_\delta)\alpha = 0,88 + 2(0,89 - 0,88) \cdot 0,56 = 0,89 ;$$

$$N = \eta \cdot \varphi (R_{пр} \cdot F + R_{ас} \cdot F'_a) = 1 \cdot 0,89 (15 \cdot 22 \cdot 28 + 340 \cdot 2 \cdot 7,6) (100) =$$

$$= 1283,3 \text{ кН} > 570 \text{ кН}.$$

Несущая способность с учетом устойчивости обеспечена.

## 6.5. Двухкатная балка двугаврового сечения

Исходные данные и нагрузка (рис. 6.6)

Пролет  $l = 18$  м. Балка изготовлена из влакнощелочного бетона марки 400:  $R_{пр} = 15$  МПа;  $R_{пр} = 21$  МПа;  $R_p = 1,2$  МПа;  $R_{пр} = 1,8$  МПа;  $E_0 = 0,268 \cdot 10^5$  МПа;  $\epsilon_{нз} = 240 \cdot 10^{-5}$ ;  $\tau = 28$  сут.;  $\theta = 70\%$ ;  $t = 15^\circ\text{C}$ ;  $K_{жс} = 0,72$  МПа  $\text{м}^{1/2}$ ;  $K_{жн} = 1,08$  МПа  $\text{м}^{1/2}$ ;  $\gamma_0 = 0,81$ ;  $\gamma = \sqrt{1 - \eta^2} = 0,81 \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,48$ ;  $\gamma_t = 0,15$ .

Напрягаемая арматура из стали класса А-IV:  $R_H = 500$  МПа;  $R_{02} = 600$  МПа;  $E_H = 2 \cdot 10^5$  МПа; способ натяжения арматур на упоры - механический. Температурный перепад  $\Delta t = 65^\circ\text{C}$ ; обычная арматура из стали класса А-III:  $R_0 = R_{0с} = 340$  МПа;  $E_0 = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $R_{0ж} = 270$  МПа; передаточная прочность бетона по п.2 Рекомендаций  $R_0 = 0,8 \cdot 40 = 32,0$  МПа;  $R_{пр} = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 15 = 14,4$  МПа; величины расчетных и нормативных нагрузок, изгибающих моментов и их расчетные сочетания приведены в табл. 4.6 [142].

Расчет на прочность по нормальным сечениям

### 1) Расчет продольной арматуры

Расчет ведем по сечению 7-7, размеры которого  $h = 140$  см;  $b'_n = 40$  см;  $b = 8$  см;  $b_n = 27$  см;  $h_n = 18,5$  см;  $h'_n = 19$  см (см. рис. 6.6, б);  $M = 1302,7$  кН м;  $a = 8$  см;  $a' = 3$  см;  $h_0 = 140 - 8 = 132$  см;  $Z_n = 132 - 3 = 129$  см;  $\xi_0 = 0,9 - 0,008 R_{пр} = 0,85 - 0,008 \cdot 15 = 0,778$ ;  $R_{0с} = \epsilon_{нз} \cdot E_0 = 240 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5 = 480$  МПа;  $\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_{0с}} (1 - \frac{\xi_0}{1,1})} = \frac{0,778}{1 + \frac{500}{480} (1 - \frac{0,778}{1,1})} = 0,728$ ;  $A_R = \xi_R (1 - 0,4 \xi_R) = 0,728 (1 - 0,4 \cdot 0,728) = 0,516$ .

В верхней полке по конструктивным соображениям поставим ненапрягаемую арматуру из 4  $\phi 10$  А-III,  $F'_0 = 3,14$  см<sup>2</sup>; при  $M_R = R_{пр} \cdot b_n \cdot h'_n (h_0 - 0,5 h'_n) + R_{0с} \cdot F'_0 \cdot Z_0 = 15 \cdot 40 \cdot 18,5 \cdot (132 - 0,5 \cdot 18,5) (100) + 340 \cdot 3,14 \cdot 129 (100) = 1500$  кН·м  $> M = 1302,7$  кН·м, т.е. нейтраль-

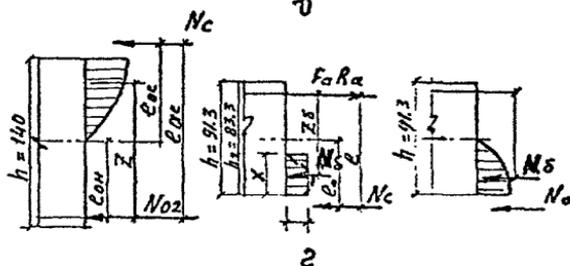
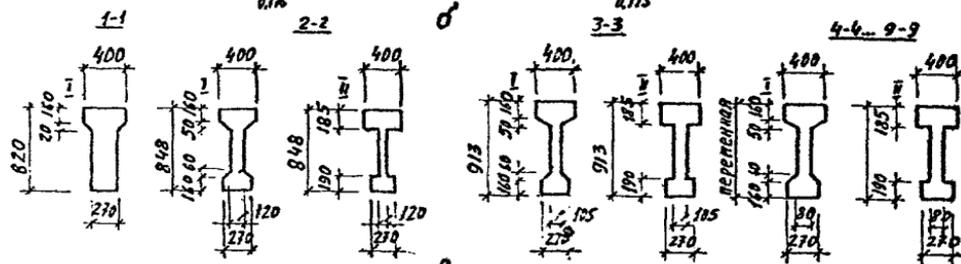
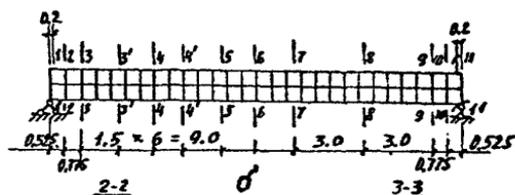
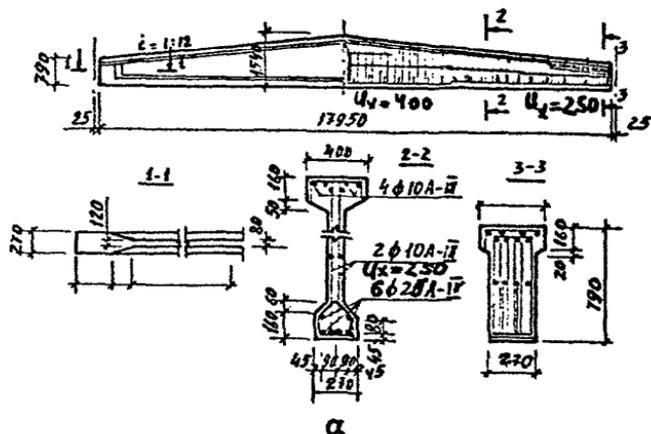


Рис. 6.6. Конструкция двускатной балки:

а - конструкция балки; б-расчетная схема; в-сечения; г-расчетные схемы напряжений и усилий при расчете на раскрытие трещин, на прочность и раскрытие трещин в стадии монтажа

Эта ось пройдет в пределах полки, поэтому дальнейший расчет веден как для прямоугольного сечения шириной  $b'_n = 40$  см,  $A'_0 = \frac{M_0 - R_{ac} \cdot F'_a \cdot z_0}{R_{sp} \cdot b \cdot h_0} = \frac{113270000 - 340 \cdot 3,14 \cdot 129(100)}{15(100) \cdot 40 \cdot 132} = 0,111 < A_R = 0,516$ ; по табл.

3,1 прил. 3 Рекомендаций находим  $\xi = 0,117$ ;  $\eta = 0,953$ ;  $z_f = \eta \cdot h_0 = 125,8$  см;  $m_{ac} = \bar{m}_{ac} - (\bar{m}_{ac} - 1) \cdot \frac{\xi}{\xi_R} = 1,2 - (1,2 - 1) \cdot \frac{0,117}{0,729} = 1,17$   
 $F'_a = \frac{\xi \cdot b \cdot h_0 \cdot R_{sp} + R_{ac} \cdot F'_a}{m_{ac} \cdot R_a} = \frac{(0,117 \cdot 40 \cdot 132 \cdot 15 + 340 \cdot 3,14)(100)}{2,17 \cdot 500(100)} = 17,66$  см<sup>2</sup>; принимаем 5  $\emptyset$  22 А-IV с  $F'_a = 19,00$  см<sup>2</sup>.

2) Проверка прочности нормальных сечений

а) Геометрические характеристики сечений

Геометрические характеристики сечений при  $\eta_n = \eta_0 = \frac{R_a}{R_s} = \frac{2 \cdot 10^5}{0,268 \cdot 10^5} = 7,46$  приведены в табл. 6.1.

б) Потери, напряжения и условия предварительного напряжения :

$\sigma_{нк} = \frac{600}{1,05} = 570$  МПа; потери напряжения, происходящие до окончания обжатия бетона от релаксации напряжения  $\sigma_1 = 0,1 \sigma_{нк} = 20 = 0,1 \cdot 570 = 20 = 37$  МПа; от температурного перепада  $\sigma_2 = 1,25 \cdot 65 = 81$  МПа; от деформации анкеров при длине натягиваемых стержней  $l = 18 + 2 = 20$  м;  $\sigma_3 = \frac{\lambda}{l} E_a = \frac{2}{20000} \cdot 2 \cdot 10^5 = 20$  МПа; предварительно первые потери равны  $\sigma_{n1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 37 + 81 + 20 = 138$  МПа;  $\sigma_{o1} = \sigma_{нк} - \sigma_{n1} = 570 - 138 = 432$  МПа;  $N_{o1} = \sigma_{o1} \cdot F'_a = 432 \cdot 19,0(100) = 820,8$  кН; эксцентриситет приложения  $N_{o1}$  относительно центра тяжести сечения 5-5:  $e_o = y_n - a_n = 74,1 - 8 = 66,1$  см а относительно центра тяжести растянутой арматуры  $e_{an} = 0,46 \cdot h - y_n$ ;

Момент от собственного веса: сечение 5-5  $M_{c.в.} = \frac{q \cdot z}{2} (l - z) = \frac{20 \cdot 7,3}{18 \cdot 2} (17,6 - 7,3) = 187,98$  кН·м;  $\sigma_{bn} = \frac{M_{c.в.}}{F'_{bn}} + \frac{N_{o1} \cdot e_o}{J'_{bn}} = \frac{18798000}{5810102} + \frac{820800 \cdot 66,1}{5810102} = 7,76$  МПа  $< 0,60 R_0 = 0,60 \cdot 32 = 19,2$  МПа (см. п.1.8 и табл.3 Рекомендаций); то же, на уровне крайне сжатого волокна  $\sigma_s = \frac{N_o}{F'_{bn}} - \frac{N_o \cdot e_o}{J'_{bn}} \cdot y_b + \frac{M_{c.в.}}{J'_{bn}} \cdot y_b = \frac{820800}{2200(100)} - \frac{820800 \cdot 66,1}{5810102(100)} + \frac{18798000}{5810102(100)} \cdot 74,1$

Таблица 6.1. Геометрические характеристики сечений

Обозначение	Сечения					
	1 - 1	2 - 2	3 - 3	4 - 4	5 - 5	6 - 6
$h (h_0)$ , см	82(74)	84,8(76,8)	91,3(83,3)	116(108)	140(132)	154(146)
$F_{0n}$ , см <sup>2</sup>	2561	1947	1809	2007	2200	2311
$y_H$ , см	42,8	45	48,7	61,6	74,1	81,3
$W_0$ , см <sup>3</sup>	37218	38254	42748	59904	78409	90970
$W_0'$ , см <sup>3</sup>	40636	43252	48869	67832	88165	101732
$W_T$ , см <sup>3</sup>	65132	57381	64122	89856	117614	136455
$W_T'$ , см <sup>3</sup>	71113	64878	73304	101748	132248	152597
$J_{0n}$ , см <sup>4</sup>	1592912	1721431	2081834	3690058	5810102	7395888
$z_n^0$ , см	11,6	15,7	18,9	23,9	28,5	31,5
$z_n^H$ , см	12,7	17,8	21,6	27	32,1	35,2

$\cdot (132 - 66,1) + \frac{18798000}{5810102(100)} \cdot (132 - 66,1) = -0,28$  МПа; потери от  
 быстротекучей ползучести при  $\eta_n = \frac{\sigma_{s1}}{R_s} = \frac{7,76}{32} = 0,24 < 0,5$ ,  
 $\sigma_s = 85 \cdot \eta_n = 0,85 \cdot 85 \cdot 0,24 = 17,34$  МПа; тогда  $\sigma_{n1} = \sigma_1 + \sigma_2 +$   
 $+ \sigma_3 + \sigma_6 = 138 + 17,34 = 155,34$  МПа; предварительное напряжение  
 с учетом первых потерь  $\sigma_{o1} = \sigma_o - \sigma_{n1} = 570 - 155,34 = 414,66$  МПа;  
 усилие предварительного обжатия с учетом первых потерь  $N_{o1} = \sigma_{n1} \cdot F_n^d$   
 $= 414,66(100) \cdot 19,00 = 787,85$  кН.

Напряжение обжатия на уровне растянутой арматуры  $\sigma_{s1} =$   
 $= \frac{787,85 \cdot 10^3}{2200(100)} + \frac{787,85 \cdot 10^3 \cdot 66,1^2}{5810102(100)} - \frac{187,98 \cdot 10^5 \cdot 66,1}{5810102(100)} = 7,36$  МПа.

Вторые потери: от усадки бетона  $\sigma_8 = 50,0$  МПа; от ползучести  
 при  $\eta_n = \frac{\sigma_{s1}}{R_s} = \frac{7,36}{32} = 0,23 < 0,5$  определяем по формуле  $\sigma_9 =$

$= \frac{\sigma_{s1}}{\mu_n \cdot \rho_1} \cdot \varphi - 85 \cdot \eta_n$ ; для сечения 5-5  $F = F_{sn} \cdot \eta_n (F_n + F'_n) =$   
 $= 2200 - 7,46(19 + 3,14) = 2200 - 165,2 = 2035$  см<sup>2</sup>;  $\mu_n = \frac{F_n}{F} =$   
 $= \frac{19,00}{2035} = 0,0093$ ;  $\varphi = 1 - e^{-\frac{\mu_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1}{1 + \mu_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1 \cdot \gamma} \cdot \varphi_m} = 1 - e^{-\alpha}$ ;

$\eta_n = 7,46$ ;  $\varphi_m = \varphi_m^n \cdot K_1^n \cdot K_2^n \cdot K_4^n \cdot K_{\theta_{от}}$   $= 5,5 \cdot 1 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 = 4,89$ ,  
 где коэффициенты  $K_1^n, K_2^n, K_4^n$  принимаются по табл.22 прил.2,  $K_{\theta_{от}}$  -  
 по табл.2,  $\varphi_m^n$  - по табл.2.1 Рекомендации:  $K_1^n = 1$ ;  $K_4^n = 1$ ;

$\varphi_m^n = 5,5$ ;  $K_{\theta_{от}} = 1$ ;  $\gamma = 1 + 0,5 \cdot 4,417 = 3,21$ ; при модуле откры-  
 той поверхности:  $M_0 = \frac{P}{F_s} = \frac{2(b'_n + b_n - b)}{h_o + h_m} =$   
 $= \frac{2(40 + 27 - 8) + 79 + 154}{2311} = 0,125$ ;  $K_2^n = 0,85 + 0,15 \frac{25}{100} = 0,89$ ;

$\rho_1 = 1 + \frac{\gamma \cdot e_{от}}{z^2} = 1 + \frac{56,1^2}{2641} = 2,65$ ;  $z^2 = \frac{J_{sn}}{F_{sn}} = \frac{5810102}{2200} =$   
 $= 2641$  см<sup>2</sup>;  $\alpha = \frac{\mu_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1}{1 + \mu_n \cdot \mu_n \cdot \rho_1 \cdot \gamma} \cdot \varphi_m = \frac{7,46 \cdot 0,0093 \cdot 2,65}{1 + 7,46 \cdot 0,0093 \cdot 2,65 \cdot 3,21}$

$= 4,89 = 0,51$ ; по табл. 2.4 прил.2 Рекомендации  $\varphi = 1 - e^{-\alpha} =$   
 $= 1 - e^{-0,51} = 0,393$ ;  $\sigma_9 = \frac{7,36}{0,0093 \cdot 2,65} \cdot 0,393 = 0,85 \cdot 85 \cdot 0,23 =$

$= 99,8$  МПа;  $\sigma_{n2} = \sigma_8 + \sigma_9 = 50 + 99,8 = 149,8$  МПа;  $\sigma_n = \sigma_{n1} +$

$$+ \sigma_{\text{л2}} = 158,4 + 149,8 = 308,2 \text{ МПа}; \quad \sigma_0 = \sigma_{\text{нк}} - \sigma_{\text{л}} = 570 - 308,2 = 261,8 \text{ МПа}; \quad N_0 = m \cdot \sigma_0 \cdot F_n = 1,261,8 \cdot 19(100) = 497,4 \text{ кН}.$$

Аналогично вычисляем потери, установившиеся напряжения и усилия обжатия для всех сечений и сводим в табл. 6.2.

в) Проверка прочности.

$$\begin{aligned} \text{Расчет веден в следующем порядке: } \sigma_{\text{л}} &= R_0 + R_{\text{ос}} - \sigma_0 = \\ &= 500 + 480 - 261,8 = 718,2 \text{ МПа}, \quad \xi_{\text{R}} = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_{\text{л}}}{R_{\text{ос}}} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,1}\right)} = \\ &= \frac{0,88}{1 + \frac{718,2(1 - 0,88)}{480 \cdot 1,1}} = 0,677; \quad \lambda_{\text{R}} = \xi_{\text{R}} \left(1 - 0,4 \xi_{\text{R}}\right) = 0,677 \cdot \\ &= (1 - 0,4 \cdot 0,677) = 0,494; \text{ предварительно принимаем } m_{\text{от}} = 1,15. \end{aligned}$$

Таблица 6.2. Потери, напряжения и усилия предварительного натяжения для сечений

Сечения	Потери, МПа		Напряжения, МПа		Усилия $N_0$ , кН	Эксцентриситет $e_{\text{от}}$ , см
	$\sigma_{\text{л1}}$	$\sigma_{\text{л}}$	$\sigma_{\text{от}}$	$\sigma_0$		
1-1	157,8	320,0	412,3	250,0	475,0	34,8
2-2	158,9	325,8	411,3	244,2	464,0	37
3-3	158,5	323,4	411,7	246,6	468,5	40,7
4-4	156,4	311,2	413,9	258,8	491,7	53,6
5-5	155,3	308,2	414,7	261,8	497,4	66,1
6-6	155,1	306,4	414,9	263,6	500,8	73,3

$$\xi = \frac{m_{\text{ос}} \cdot R_{\text{н}} \cdot R - R_{\text{ос}} \cdot F'_0}{b \cdot h_0 \cdot R_{\text{пр}}} = \frac{1,15 \cdot 500 \cdot 19 - 340 \cdot 3,14}{40 \cdot 132 \cdot 15} = 0,124;$$

$$\text{уточняем } m_{\text{ос}} = \bar{m}_{\text{ос}} \cdot (\bar{m}_{\text{ос}} - 1) \frac{\xi}{\xi_{\text{R}}} = 1,2 \cdot (1,2 - 1) \frac{0,124}{0,677} = 1,16;$$

$\xi = 0,126$ ; по табл. 3.1 прил. 3 Рекомендация  $\lambda_0 = 0,119$ ; момент, который может воспринять сечение, определяем по формуле  $M = A_0 \cdot \sigma'_0 \cdot h_{\text{пр}} + R_{\text{ос}} \cdot F'_0 \cdot z_0 = 0,119 \cdot 40 \cdot 132^2 \cdot 15(100) + 340 \cdot 3,14 \cdot 129(100) = 1381,8 \text{ кНм} > 1302,7 \text{ кНм}$ ; несущая способность обеспечена.

Расчет на прочность по наклонным сечениям

Расчет производим для сечения 2-2 на расстоянии 70 см от торца балки [142]:  $h_0 = 76,8$  см;  $b = 12$  см; т.к.  $Q = 290,86$  кН  $<$   $< 0,35 R_{вр} \cdot b \cdot h = 0,35 \cdot 35 \cdot 12 \cdot 76,8(100) = 489,84$  кН, то размеры сечения достаточны; так как  $Q = 290,86$  кН  $> K_1 R_p \cdot b \cdot h_0 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 76,8(100) = 55,3$  кН, то необходим расчет поперечной арматуры; расчет производим в следующем порядке:  $q_{хтр} = \frac{Q^2}{4 \cdot R_s \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2} =$

$$= \frac{290860^2}{4 \cdot 1,75 \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 76,8^2(100)} = 1422,9 \text{ Н/см}; \quad u_x = \frac{0,75 \cdot R_s \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2}{Q} =$$

$$= \frac{0,75 \cdot 1,75 \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 76,8^2(100)}{290860} = 38,3 \text{ см}; \text{ при } h > 450 \text{ мм } u_x \leq \frac{h}{3} =$$

$$= \frac{76,8}{3} = 25,6 \text{ см}; \quad u_x \leq 50 \text{ см}; \text{ принимаем } u_x = 25 \text{ см}; n_x = 2;$$

$$f_{охтр} = \frac{q_{хтр} \cdot u_x}{R_{ох} \cdot n_x} = \frac{1422,9 \cdot 25}{270 \cdot 2(100)} = 0,659 \text{ см}^2; \text{ принимаем } \varnothing 10$$

$$A-II \text{ с } f_{ох} = 0,785 \text{ см}^2; \text{ проверяем } q_x = \frac{R_{ох} \cdot n_x \cdot f_{ох}}{u_x} =$$

$$= \frac{240 \cdot 2 \cdot 0,785(100)}{25} = 2135,2 \text{ Н/см}; \quad Q_{хб} = 2 \sqrt{K_2 \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2 \cdot q_x} =$$

$$= 2 \cdot 1,75 \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 76,8^2 \cdot 2135,2(100) = 356,3 \text{ кН} > Q = 290,86 \text{ кН};$$

прочность наклонных сечений обеспечена.

Сдвигание суммарные усилия между арматурой и бетоном растянутой зоны определяем по формулам (19) Рекомендаций  $T_{max} = N_H = F_H \cdot R_H =$

$$= 19 \cdot 500(100) = 950 \text{ кН}; \quad S_{max} = -0,55 \frac{(Q + P)}{2 \cdot Z_s} = -0,55 \frac{Q_m}{Z_s} =$$

$$= -0,55 \frac{290860}{125,8} = 1271,6 \text{ Н}; \text{ коэффициент жесткости } \mathcal{E} \text{ поперечных}$$

связей сдвига между арматурой и бетоном растянутой зоны равен:

$$\Delta_{гб} = \frac{2 \cdot Z_s}{\gamma \cdot E_s \cdot b \cdot \sin^2 2\alpha} = \frac{2 \cdot 125,8}{0,48 \cdot 0,268 \cdot 10^7 \cdot 12 \cdot 1^2} = 162,98 \cdot 10^5 \text{ МПа}^{-1};$$

$$\Delta_{гх} = \frac{4 \cdot d_x \cdot u_x}{E_{ох} \cdot f_{ох} \cdot n_x \cdot l_g^2 \alpha} = \frac{4 \cdot 1,0 \cdot 25}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,785 \cdot 2 \cdot 1^2} = 31,85 \cdot 10^5 \text{ МПа}^{-1};$$

$$\mathcal{E} = \frac{1}{\Delta_{гб} + \Delta_{гх}} = \frac{1}{162,98 + 31,85} \cdot 10^5 = 513 \text{ МПа}; \text{ сдвиг определяем}$$

по формуле (21) Рекомендаций  $u_s = \frac{S}{\mathcal{E}} = \frac{1271,6}{513(100)} = 2,479 \cdot 10^{-2} \text{ см};$

касательные (сдвигание) напряжения определяем по формуле (20) Рекомендаций  $\tau = \frac{S}{P_H} = \frac{S}{5 \cdot \pi \cdot d_H} = \frac{1271,6}{5 \cdot 3,14 \cdot 2,2} = 36,8 \text{ Н/см}^2 = 0,368 \text{ МПа};$

$$\tau = 0,368 \text{ МПа} < R_{сш} = 4,55 \text{ МПа.}$$

Расчет на образование и раскрытие трещин

### 1) Расчет на образование трещин

Расчет производим из условия  $M_3 < M_T$ ;  $M_3 = M = 1090,7 \text{ кНм}$ ;

$$M_T = R_{pT} \cdot W_T \cdot N_0 (y_B + e_{ан} - 1/3 X_T); W_T = [U_0 + 0,75 (\gamma_1 + \frac{1}{2} n_p / M_0 + 0,15 \gamma_2')] b h^2; U_0 = 0,45 \text{ при } X < h'_n; \gamma_1 = \frac{(b_n - b) \cdot h_n}{6 h_n} = \frac{(27 - 8)(16 + 6/2)}{8 \cdot 140} = 0,322; \gamma_2' = \frac{(b'_n - b) \cdot h'_n \cdot n_n / \sqrt{F_n}}{6 h_n} = \frac{(40 - 8)(16 + 5/2) + \frac{7 \cdot 16}{0,48} \cdot 3,14}{6 \cdot 140} = 0,572 (\gamma_{ан}' = 0,664);$$

$$\mu_n = \frac{F_n}{F} = \frac{8 \cdot 140}{F_{ан} - n_n \cdot F_n} = \frac{19}{2200 - 7,46 \cdot 19} = 0,0092; W_T = [0,45 + 0,75(0,322 + 1/0,48 \cdot 7,46 \cdot 0,0092) + 0,15 \cdot 0,572] \cdot 8 \cdot 140^2 = 137984 \text{ см}^3.$$

Высоту скатой зоны перед образованием трещин определяем по формуле (50) Рекомендаций;

$$X_T = \left[ 1 - \frac{\sqrt{b h + (1 - h_n/2h)(b_n - b) h'_n + n_n \cdot F_n + n_n \cdot F_n}}{F_{ан} - \sqrt{F_{св}} + \frac{\gamma \cdot N_0}{R_{pT}}} \right] h = \left[ 1 - \frac{0,48 \cdot 8 \cdot 140 + (1 - 18,5/2 \cdot 140)(40 - 8) \cdot 18,5 + 7,46 \cdot 3,14}{2200 - 0,48(27 - 8) \cdot 19 + \frac{0,48 \cdot 497400}{1,8(100)}} \right] 140 =$$

$$= 93,6 \text{ см}; M_T = 1,8 \cdot 137985(100) + 497400(65,9 + 66,1 - 1/3 \cdot 93,6) = 248,4 + 501,4 = 749,8 \text{ кНм} < M^H = 1090 \text{ кНм};$$

трещиностойкость не обеспечена, трещины образуются; из условия обеспечения трещиностойкости необходимо

$$N_0 > \frac{M^H - M}{(y_B + e_{ан} - 1/3 X_T)} = \frac{(1090,7 - 248,4) \cdot 10^5}{1,008} = 835,6 \text{ кН}; F_n > \frac{N_0}{\sigma_n} = \frac{835,6 \cdot 10^3}{308,2(100)} = 27,11 \text{ см}^2, \text{ т.е.}$$

6-ø 25 А-IV  $\sigma_{Fn} = 29,45 \text{ см}^2$ ; в дальнейшем расчет на раскрытие трещин в последнем случае не производится.

### 2) Расчет на раскрытие трещин

Расчет производим в следующем порядке: приращение напряжений в растянутой арматуре от полной нагрузки определяем по формуле

$$(табл. 6.1) \Delta \sigma_n = n_n \frac{M^H}{J_{bn}} y_{ан} - (\sigma_0 + \frac{n_n}{\gamma} R_{pT}) =$$

$$= 7,46 \frac{1090 \cdot 7 \cdot 10^5 (79,1 - 19/2)}{172133(100)} - (261,8 + \frac{7,46 \cdot 1,8}{0,486}) = 305,3 -$$

$-(261,8 + 27,0) = 16,2$  МПа; от действительной нагрузки:  $\Delta \sigma_n =$

$$= 7,46 \frac{112 \cdot 11 \cdot 10^5 \cdot 0,6}{172133(100)} - 289,4 = 199,36 - 289,4 = -90 \text{ МПа} < 0;$$

(трещины не образуются); расчет произведем только от кратковременного действия всей нагрузки:  $\sigma_{II} = K \cdot \sigma_0 \cdot \eta \cdot \frac{\Delta \sigma_n}{E_n} = 20(3,5 - 100 \mu_n) \cdot$

$$\sqrt{\Delta \sigma_n} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \frac{16,2}{2 \cdot 10^5} \cdot 20(3,5 - 100 \cdot 0,0092) \sqrt{22} = 0,021 < 0,4 \text{ мм};$$

критическая ширина раскрытия трещины:  $b_{кр} = \frac{F_{кр}}{h} = 2200/140 =$

$$= 15,7 \text{ см} = 0,157 \text{ м}; \mu_{оп} = 0,15 + 0,3 \eta^2 = 0,15 + 0,3 \cdot 0,8^2 = 0,342;$$

$$\Delta N_s = \Delta \sigma_n \cdot F_n = 16,2 \cdot 19(100) = 30780 \text{ Н}; \sigma_{тр} = K \cdot \sigma_0 \cdot \eta \cdot \frac{[1 - \mu_{оп}] \cdot b \cdot R_{тр}}{\eta \cdot E_s \cdot R_p^2 \cdot I \cdot \Delta N_s}$$

$$\leq 5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \frac{1 - 0,342^2 \cdot 0,157 \cdot 1 \cdot 0,08^3 \cdot (10^9)}{0,486 \cdot 2,68 \cdot 10^8 \cdot 1,8^2 \cdot 3,14 \cdot 30780} = 0,277 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм}.$$

3) Расчет призматических нормальных сечений по образованию трещины

Сечение I-I: длина зоны передачи напряжений  $l_{п.н.} = (m_{п.н.} \cdot \frac{\sigma_{нн}}{R_0} + \Delta \lambda_{п.н.}) d = (0,3 \cdot \frac{570 - 158}{32} + 10) \cdot 22 = 305 \text{ мм} < 15d = 15 \cdot$

$22 = 330 \text{ мм}$ ; принимаем  $l_{п.н.} = 33 \text{ см}$ ;  $N_0 = m_T \cdot \sigma_0 \cdot F_n = 0,9 \cdot 261,8 \cdot 19 \cdot$

$(100) = 447,7 \text{ кН}$ ;  $e_0 = y_n - a_n = 42,8 - 8 = 34,8 \text{ см}$ ;  $M_T = R_{пр} \cdot W_T +$

$+ N_0 (z_n^a + e_0) = 1,8 \cdot 65132(100) + 447,7 \cdot 10^3 (11,6 + 34,8) = 325 > M_T^a =$

$= 43,9 \text{ кНм}$ ; трещиностойкость обеспечена.

4) Расчет наклонных призматических сечений на образование трещины

Расчет проводим для сечения 2-2 (в месте изменения толщины

стенки): статические моменты сопротивления: верхней полки отно-

сительно центра тяжести  $S_n = b_n h_n (h - y_n - \frac{h_n}{2}) = 40 \cdot 18,5 (84,8 -$

$- 45 - 18,5/2) = 22607 \text{ см}^3$ ;  $y_n = h - y_n = 84,8 - 45 = 39,8 \text{ см}$ ;

для сечения по центру тяжести  $S_u = S_n + b (y_n - h'_n) \frac{y_n - h'_n}{2} =$

$= 22607 + 12(39,8 - 18,5) \cdot \frac{39,8 - 18,5}{2} = 25329,1 \text{ см}^3$ ; соответствующие

касательные, нормальные и главные напряжения:  $\tau_n = \frac{Q_n^* \cdot S_n}{J_n^* \cdot b} =$

$= \frac{243,27 \cdot 10^3 \cdot 22607}{1683138,7 \cdot 12(100)} = 2,72 \text{ МПа}$ ;  $\tau_u = \frac{243,27 \cdot 10^3 \cdot 25329,1}{1683138,7 \cdot 12(100)} = 3,05 \text{ МПа}$ ;

$N_0 = \sigma_0 \cdot F_n = 253,1 \cdot 19(100) = 480,9 \text{ кН}$ ;  $\sigma_{нн} = - \frac{N_0}{F_{нн}} + \frac{N_0 \cdot e_0}{J_{нн}}$

$$\begin{aligned}
 - \frac{M}{J_{\text{дн}}} y &= - \frac{N_0}{F_{\text{дн}}} - \frac{M - N_0 \cdot e_p}{J_{\text{дн}}} y = - \frac{480,9 \cdot 10^3}{1985,8 \cdot (100)} - \\
 & \frac{(131,43 - 480,9 \cdot 0,37) \cdot 10^5}{1683138,7} \cdot 21,3 = - 2,42 + 0,53 = - 1,89 \text{ МПа}; \\
 y &= y_B - h'_n = 39,8 - 18,5 = 21,3 \text{ см}; e_0 = y_n - a_n = 45 - 8 = \\
 &= 37 \text{ см} = 0,37 \text{ м}; \sigma_{\text{хл}} = - \frac{N_0}{F_{\text{дн}}} = - 2,42 \text{ МПа}; \sigma_{\text{г.г.}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \\
 &+ \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2} = - \frac{1,89}{2} + \sqrt{\left(\frac{1,89}{2}\right)^2 + 2,72^2} = - 0,945 + 2,88 = \\
 &= \frac{1,93}{- 3,83}, \text{ т.е. } \sigma_{\text{г.г.}} = 1,93 \text{ МПа}; \sigma_{\text{г.с.}} = - 3,83 \text{ МПа}; \sigma_{\text{г.г.}} = \frac{2,42}{2} \pm \\
 &\pm \sqrt{\left(\frac{2,42}{2}\right)^2 + 3,05^2} = - 1,21 \mp 3,28 = \frac{2,07}{- 4,49} \text{ МПа, т.е. } \sigma_{\text{г.г.}} = \\
 &= 2,07 \text{ МПа}; \sigma_{\text{г.с.}} = - 4,49 \text{ МПа}; \text{ так как } \sigma_{\text{г.с.}} = - 4,49 \text{ МПа} < m_1 \cdot R_{\text{рп}} \\
 &= 0,5 \cdot 21 = 10,5 \text{ МПа}; \sigma_{\text{г.г.}} = 2,07 \text{ МПа} > R_{\text{рп}} = 1,8 \text{ МПа}; \text{ условие не} \\
 &\text{соблюдается}; \text{ из условия } \sigma_{\text{г.г.}} < R_{\text{рп}} \text{ определяем } \sigma_x \geq \left(R_{\text{рп}} - \frac{\tau^2}{R_{\text{рп}}}\right) = \\
 &= 1,8 - \frac{2,05^2}{1,8} = \geq - 3,37 \text{ МПа}, \text{ т.е. } \sigma_x \geq - \frac{N_0}{F_0} = - 3,37 \text{ МПа}; \\
 N_0 &\geq 3,37 F_{\text{дн}} = 3,37 \cdot 1985,8(100) = 669,2 \text{ кН}; F_N \geq \frac{N_0}{\sigma_0} = \frac{669,2 \cdot 10^3}{253,1(100)} \\
 &= 26,44 \text{ см}^2; 7 \text{ } \emptyset 22 \text{ А-IV с } F_N = 26,61 \text{ см}^2.
 \end{aligned}$$

Расчет по деформациям

Расчет производим с учетом кратковременного и длительного действия нагрузок : при кратковременном действии полной нагрузки :

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \frac{M^H}{b h_0^2 \cdot R_{\text{рп}}} = \frac{1090,7 \cdot 10^5}{8 \cdot 132^2 \cdot 21(100)} = 0,373; \text{ по табл. 3.1 прил.3 Ре-} \\
 \text{комендаций } \xi &= 0,45; U = (1 - 0,4 \xi) = 0,818; \frac{1}{\rho_1} = \frac{\psi_0 \cdot}{\nu \cdot E_s \cdot \omega} \\
 \cdot M^H &= \frac{0,9 \cdot 1090,7 \cdot 10^5}{0,48 \cdot 0,268 \cdot 1,8 \cdot 132^2 \cdot 0,45(0,45 + 0,572) \cdot 0,818(100)} = \\
 &= 1,1 \cdot 10^{-5} = 110 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-1}; \text{ постоянной и длительной нагрузок :} \\
 A_0 &= \frac{M_{\text{дл}}^H}{b h_0^2 \cdot R_{\text{рп}}} = \frac{712,11 \cdot 10^5}{8 \cdot 132^2 \cdot 21(100)} = 0,243; \xi = 0,27; U = 0,89; \\
 \frac{1}{\rho^2} &= \frac{\psi_0 \cdot M_{\text{дл}}^H}{\nu \cdot E_s \cdot \omega \cdot h_0^3 \cdot \xi \cdot (\xi + \gamma) \cdot U \cdot b} = \\
 &= \frac{0,9 \cdot 712,11 \cdot 10^5}{0,48 \cdot 0,268 \cdot 10^5 \cdot 1,8 \cdot 132^3 \cdot 0,27(0,27 + 0,572) \cdot 0,89 \cdot (100)} = 1,34 \cdot \\
 &\cdot 10^{-5} = 134 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-1}; \text{ при длительном действии постоянной и дли-} \\
 \text{тельной нагрузок : } \frac{1}{\rho_3} &= \frac{\psi_0 \cdot M_{\text{дл}}^H}{\nu \cdot E_s \cdot \omega \cdot h_0^3 \cdot \xi \cdot (\xi + \gamma) \cdot U \cdot b}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,9 \cdot 712,11}{0,15 \cdot 0,268 \cdot 10^5 \cdot 1,8 \cdot 132^3 \cdot 0,27(0,27 + 0,664) \cdot 0,89 \cdot (100)} =$$

$$= \frac{640,9}{170,4 \cdot 10^5} = 3,76 \cdot 10^{-5} = 376 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-1}; \text{ выгиб от усадки и ползу-}$$

чества при предварительном обжатии при  $\sigma_{п2} = \sigma_8 + \sigma_9 = 178,6 \text{ МПа}$ :

$$\frac{1}{\rho_{вп}} = \frac{\epsilon_{п} + \epsilon'_{п}}{h_0} = \frac{\sigma_{п2} + \sigma'_{п2}}{E_n \cdot h_0} = \frac{178,6 + 0}{2 \cdot 10^5 \cdot 132} = 0,68 \cdot 10^{-5} = 68 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-1};$$

суммарная кривизна:  $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_3} - \frac{1}{\rho_{вп}} = (110 - 134 +$

$$+ 376 - 68) \cdot 10^{-7} = 284 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-1}; \text{ приближенно прогиб определяем}$$

по формуле для сечения 5-5  $f = S \frac{1}{\rho} l_0^2 = \frac{1}{48} \cdot 284 \cdot 10^{-7} \cdot 1760^2 =$

$$= 1,83 \text{ см} < \frac{1}{300} l_0 = \frac{1760}{300} = 5,87 \text{ см}. \text{ Жесткость балки обеспечена.}$$

Расчет балки на нагрузки в стадии изготовления,  
транспортирования и монтажа

Петли для строповки расположены на расстоянии 1,5 м от ее торца, т.е. в сечении 3-3,  $h_0 = 91,3 - 3 = 88,3 \text{ см}$  (см. рис. 6.6, а.).

Изгибающий момент от собственного веса с учетом коэффициента динамичности  $K_d = 1,5$ :  $M_{с.в.} = \frac{q l^2}{2} K_d = \frac{90000 \cdot 1,5^2}{18 \cdot 2 \cdot (10^3)} \cdot 1,5 = 8,44 \text{ кНм}$ ; и без его учета  $M_{с.в.} = 5,63 \text{ кНм}$ ; усилие обжатия (в предельном состоянии балки) составляет:  $N_0 = m_t (\sigma_{от} - 330) F_n = 1,1 (411,7 - 330) \cdot 19,00(100) = 171,38 \text{ кН}$ , при расчете трехнестойкости  $N_{01} = 343,71 \text{ кН}$ . Эксцентриситет приложения этого усилия относительно центра тяжести приведенного сечения  $e_0 = 48,7 - 8 = 40,7 \text{ см}$ , и относительно центра тяжести верхней ненапрягаемой арматуры  $e = 91,3 - 3 - 8 = 80,3 \text{ см}$ . Учитывая, что сечение 3-3 работает на внецентренное сжатие от совместного действия усилия  $N_0$  и изгибающего момента  $M_{с.в.}$ , результирующий эксцентриситет приложения сжимающей силы по отношению к центру тяжести приведенного сечения составляет  $e_{0ч} = \frac{N_0 e_0 + M_{с.в.}}{N_0} = \frac{171380 \cdot 40,7 + 8,44 \cdot 10^5}{171380} = 45,62 \text{ см}$ , а по отношению к центру тяжести верхней ненапрягаемой арматуры  $e = 91,3 - 3 - 48,7 + 45,62 = 85,22 \text{ см}$ . Соответствующие эксцентрисис-

теты для усилия  $N_o$ :  $e_o = \frac{343710 \cdot 40,7 + 5,63 \cdot 10^5}{343710} = 42,34 \text{ см}$ ;

$e = 91,3 - 3 \cdot 48,7 + 42,34 = 81,94 \text{ см}$ ;  $\xi = \frac{N_o + R_d F_o'}{R_{sp} b_n h_o} = \frac{171360}{14,4 \cdot 27} + \frac{340 \cdot 3,14(100)}{88,3(100)} = 0,081$ ; так как  $\xi h_o = 0,081 \cdot 88,3 = 7,1 \text{ см} < h'_n =$

$= 19 \text{ см}$ , то нейтральная ось находится в пределах нижней полки; по табл. 3.1 прил.3 Рекомендации  $A_o = 0,078$ , тогда условие прочности соблюдается:  $N_o e = 171360 \cdot 65,22 = 146,05 \text{ кНм} < A_o R_{sp} b_n h_o^2 = 0,078 \cdot 14,4 \cdot 27 \cdot 88,3^2(100) = 236,45 \text{ кНм}$ ; прочность сечения обеспечена.

Условие трещиностойкости обеспечено:  $R_{pl} W_T = 1,8(100) \cdot 73304 = 13194720 \text{ Н см} > m_T N_o (e_o - z^n) = 1,1 \cdot 343710 \cdot (41,5 - 21,6) = 7523612 \text{ Н см}$ , следовательно, расчет на ширину раскрытия трещин не производим.

#### Конструирование балки

Из расчета на трещиностойкость, по образованию трещин окончательно принимается продольная арматура  $6 \emptyset 25 \text{ А-IV}$  с  $F_N = 29,45 \text{ см}^2$ , которая обеспечивает трещиностойкость как по нормальным, так и по наклонным сечениям.

Поперечная арматура принимается из расчета на прочность по наклонным  $2 \emptyset 10 \text{ А-III}$  с шагом  $U_x = 250 \text{ мм}$  в приопорных четвертях пролета, в средней половине пролета балки поперечная арматура ставится с шагом  $U_x = \frac{1}{3} \frac{h_o + h_m}{2} = \frac{1}{3} \frac{1790 + 1540}{2} = 388 \text{ мм} = 40 \text{ см}$ .

У боковых граней стенки балки ставятся конструктивные продольные стержни с расстоянием между ними по высоте не более  $400 \text{ мм}$  и площадью сечения не менее  $0,1\%$ , т.е.  $F_{an} = 0,001 \cdot 2000 = 2 \text{ см}^2$ ,  $2 \cdot 4 \emptyset 10$  с  $F_a = 1,57 + 3,14 \text{ см}^2$ .

Конструирование балки показано на рис. 6.6, а.

## 6.6. Поперечная рама сельскохозяйственного здания и колонна

Исходные данные, нагрузки, усилия

Статическая схема поперечной рамы здания представлена на рис.

6. . Нагрузки и статический расчет поперечной рамы приведены в [142].

### Расчет колонны

1) Расчет на прочность и устойчивость

Колонна изготавливается из бетона марки 300:  $R_{пр} = 11,5$  МПа,  $m_{г1} = 0,8$ ;  $E_{г} = 0,236 \cdot 10^5$  МПа;  $\nu_o = 0,79$ ;  $\nu_{\epsilon} = 0,14$ ;  $\nu = \nu_o \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,474$ ;  $\epsilon_{mb} = 230 \cdot 10^{-5}$ ;  $R_{ac} = \epsilon_{mb} \cdot E_a = 230 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5 = 460$  МПа продольная арматура из стали класса А-III ( $R_{ac} = R_{ae} = 340$  МПа;  $E_a = 2 \cdot 10^5$  МПа); расчетная длина  $l_o = 1,5$  м =  $1,5 \cdot 7,35 = 11,03$  м;  $f_m = \frac{3}{250} l_o = 4,41$  см; т.к.  $\lambda = \frac{l_o}{e} = 1103 / 0,283 \cdot 40 = 97 > 14$ , необходимо учитывать устойчивость; усилия: первая  $M = -75,8$  кН м;  $M_{oa} = 0,6$  кН м;  $N = 263,8$  кН;  $N_{oa} = 263,8$  кН; эксцентриситеты:  $C_o = \frac{M}{N} = \frac{75,8 \cdot 10^3}{263,8 \cdot 10^3} = 28,7$  см;  $C_{oa} = \frac{6,0 \cdot 10^5}{263,8 \cdot 10^3} = 0,2$  см;  $\eta_{кр} = 1 + \frac{f_m}{C_o} = 1 + \frac{4,41}{28,7} = 1,15$ ; вторая:  $M = -67,9$  кН м;  $M_{oa} = 0,9$  кН м;  $N = 341,8$  кН;  $N_{oa} = 269,4$  кН;  $C_o = \frac{67,9 \cdot 10^3}{341,8 \cdot 10^3} = 19,9$  см;  $C_{oa} = \frac{0,9 \cdot 10^5}{269,4 \cdot 10^3} = 0,3$  см;  $\eta_{кр} = 1 + \frac{4,41}{19,9} = 1,22$ ; так как случайный эксцентриситет ( $C_{осл} = \frac{40}{30} = 1,3$ ;  $\frac{735}{600} = 1,2$ ; 1 см) значительно меньше полученного в результате расчета и колонна входит в статически неопределимую систему, то в качестве расчетных прием эксцентриситеты, соответствующие нагрузкам:  $e = C_o \cdot \eta + 0,5h - a = 28,7 \cdot 1,15 + 0,5 \cdot 40 - 4 = 49$  см;  $e = 19,9 \cdot 1,22 + 0,5 \cdot 40 - 4 = 40$  см;  $F_a = F'_a = \frac{N(e - h_0 + \frac{N}{R_{ac} \cdot z_a})}{R_{ac} \cdot z_a} = \frac{263,8 \cdot 10^3 \cdot (49 - 36 + 263,8 \cdot 10^3)}{340(100) \cdot 32} = 2 \cdot 11,5(100)40 = 3,84$  см<sup>2</sup>;

$$F_a = F_a' = \frac{341,8 \cdot 10^3 (40 - 36) + \frac{341,8 \cdot 10^3}{2 \cdot 11,5 (100) 40}}{340 \cdot (100) \cdot 32} = 2,43 \text{ см}^2; \text{ принимаем}$$

армирование из 2  $\phi$  16 А-III с  $F_a = F_a' = 4,02 \text{ см}^2$ ; проверим несущую способность:  $\chi = \frac{N}{R_{np} \cdot b} = \frac{263,8 \cdot 10^3}{11,5 \cdot 40 (100)} = 5,73 \text{ см}; \chi =$

$$= \frac{341,8 \cdot 10^3}{11,5 \cdot 40 (100)} = 7,43 \text{ см}; N \cdot e \leq R_{np} \cdot b \chi (h_0 - 0,4 \chi) + R_{ac} \cdot F_a' \cdot (h_0 - a')$$

$$263,8 \cdot 10^3 \cdot 49 = 129,26 \cdot 10^5 < [11,5 \cdot 40 \cdot 5,73 \cdot (36 - 0,4 \cdot 5,73) + 340 \cdot 4,02 \cdot (36 - 4)] (100) = 132,6 \cdot 10^5 \text{ Н см}; 341,8 \cdot 10^3 \cdot 40 = 136,72 \text{ кНм}$$

$$< [11,5 \cdot 40 \cdot 7,43 \cdot (36 - 0,4 \cdot 7,43) + 340 \cdot 4,02 \cdot (36 - 4)] (100) = 156,6 \cdot 10^5 \text{ Н см} = 156,6 \text{ кНм}; \text{ прочность обеспечена; поперечную арматуру принимаем из конструктивных соображений:}$$

$$\phi_x 6 \text{ Нс } U_x \leq 20 d = 20 \cdot 1,6 = 30 \text{ см } \Rightarrow f_{ax} = 0,283 \text{ см}^2.$$

Такой порядок расчета очень прост и надежен.

Если рассчитывать с определением критической силы, то получим, задаваясь предварительно сечением продольной и поперечной арматуры:

$$Z_s = h_0 - 0,4 \chi = 36 - 0,4 \cdot 5,73 = 33,7 \text{ см}; \Delta_{r\theta} = \frac{2 Z_s}{\sqrt{E_s \cdot b \cdot 3 \sin^2 2\alpha}}$$

$$= \frac{2 \cdot 33,7}{0,474 \cdot 0,236 \cdot 10^5 \cdot 40 \cdot 1} = 15,1 \cdot 10^{-5}, \text{ МПа}^{-1}; \Delta_{rx} = \frac{40 \chi \cdot U_x}{E_{ax} \cdot f_{ax} \cdot \pi \cdot t_{\phi a}^2}$$

$$= \frac{4 \cdot 0,6 \cdot 30}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,283 \cdot 2 \cdot 1} = 63,6 \cdot 10^{-5}, \text{ МПа}^{-1}; \Delta_{r\theta} = 0; \sum \Delta_{ri} = (15,1 + 63,6) \cdot 10^{-5} = 78,7 \cdot 10^{-5}, \text{ МПа}^{-1}; \epsilon = \frac{1}{\sum \Delta_{ri}} = \frac{1}{78,7 \cdot 10^{-5}} = 1,27 \cdot 10^3 \text{ МПа};$$

$$\text{при учёте } \nu_t = 0,14; \Delta_{r\theta} = \frac{0,14}{0,474} \cdot 15,1 \cdot 10^{-5} = 4,46 \cdot 10^{-5}, \text{ МПа}^{-1}; \epsilon = \frac{1}{4,46 + 63,6} \cdot 10^5 = 1,47 \cdot 10^3, \text{ МПа}; N_{кр}^3 =$$

$$= \frac{\chi^2 \cdot E_s \cdot J_{\delta n}}{l_0^2} = \frac{3,14^2 \cdot 0,474 \cdot 0,236 \cdot 10^5 \cdot 230766 \cdot (100)}{1403^2} = 2094,2 \text{ кН}; N_{кр}^3 = 618,5 \text{ кН при } \nu_t = 0,14, \text{ где } J_{\delta n} = \frac{b \cdot h^3}{12} + 2 \Pi a^4$$

$$F_a (0,5 \cdot h - a)^2 = \frac{40 \cdot 40^3}{12} + 2 \cdot 8,47 \cdot 4,02 \cdot (0,5 \cdot 40 - 4)^2 = 213333 +$$

$$+ 17433 = 230766 \text{ см}^4; N_{кр} = \frac{1}{1 + \frac{N_{кр}^3}{Z_s^2 \cdot \epsilon}} = \frac{1}{1 + \frac{2094,2 \cdot 10^3}{16^2 \cdot 1,27 \cdot 10^3 (100)}} =$$

$$\sigma = 0,94; K_{sp} = \frac{1}{1 + \frac{618,5 \cdot 10^3}{16^2 \cdot 1,47 \cdot 10^3 (100)}} = 0,984; z'_c = \frac{h_0 - a'}{2}$$

$$= \frac{36 - 4}{2} = 16 \text{ см}; N_{cp} = N_{cp} \cdot K_c = 2094 \cdot 0,94 = 1968,5 \text{ кН}; N_{cp} =$$

$$= 503,5 \cdot 0,984 = 508,6 \text{ кН}; \eta_{cp} = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cp}}} = \frac{1}{1 - \frac{263,8 \cdot 10^3}{1968,5 \cdot 10^3}} =$$

$$= 1,16; \eta_{dal} = \frac{1}{1 - \frac{263,8 \cdot 10^3}{608,6 \cdot 10^3}} = 1,76; e_{cp} = c_0 \eta + 0,5h =$$

$$= 28,7 \cdot 1,16 + 0,5 \cdot 40 = 49,3 \text{ см}; e_{dal} = 0,2 \cdot 1,76 + 0,5 \cdot$$

$$= 40 = 4 = 16,35 \text{ см}; F_a = F'_a = 3,92 \text{ см}^2 \text{ при } e_{cp} \text{ и } F_a = F'_a < 0 \text{ при } e_{dal}.$$

При определении  $N_{cp}$  по формуле (58) СНиП [1] с заменой коэф-фициента 6,4 на 5,5 получим:  $J_a = 2 F_a (0,5h - a)^2 = 2 \cdot 4,02 \times$   
 $\times (0,5 \cdot 40 - 4)^2 = 2058,2 \text{ см}^4; K_{dal} = 1 + \beta \frac{M_{dal}}{M_1} = 1 + 1 \frac{4 \cdot 2,7}{117,9} =$

$$= 1,35; M_1 = N e_1 = 263,8 \cdot 0,447 = 117,9 \text{ кНм}; M_{dal} = 263,8 \cdot$$

$$= 0,163 = 42,7 \text{ кНм}; e_1 = c_0 + 0,5h - a = 28,7 + 0,5 \cdot 40 - 4 =$$

$$= 44,7 \text{ см}; e_{dal} = 0,3 + 0,5 \cdot 40 - 4 = 16,3 \text{ см}; t_{min} = 0,5 - 0,01 \frac{t_0}{h} =$$

$$= 0,01 R_{pp} = 0,5 - 0,01 \frac{1103}{40} = 0,01 \cdot 11,5 = 0,11; t = \frac{c_0 h}{h} =$$

$$= \frac{28,7}{40} = 0,718 > 0,11; N_{cp} = \frac{5,5 \cdot E \cdot J_a}{L_0} \left[ \frac{J_\delta}{K_{dal}} \left( \frac{0,11}{0,1 + t} + 0,1 \right) + \right.$$

$$\left. + n_a \cdot J_a \right] = \frac{5,5 \cdot 0,236 \cdot 10^5}{1103^2} \left[ \frac{213333}{1,35} \cdot \frac{0,11}{0,1 + 0,718} + 8,47 \cdot \right.$$

$$\left. \cdot 2058,2 \cdot (100) = 908,7 \text{ кН}; \eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cp}}} = \frac{1}{1 - \frac{263,8}{908,7}} = 1,41;$$

$$e = 28,7 \cdot 1,41 + 0,5 \cdot 40 - 4 = 56,5 \text{ см}; F_a = F'_a = \frac{N(e - h_0 + \frac{N}{2b \cdot R_{pp}})}{R_a \cdot z_a} =$$

$$= \frac{263,8 \cdot 10^3 (56,5 - 36 + \frac{263,8 \cdot 10^3}{2 \cdot 40 \cdot 11,5 (100)})}{340 \cdot 32 (100)} = 5,65 \text{ см}^2; \text{должны при-}$$

$$\text{нимать } 2 \delta \text{ по А-ш с } F_a = 6,28 \text{ см}^2; \text{проверяем } X = \frac{N}{b \cdot R_{pp}} =$$

$$= \frac{263,8 \cdot 10^3}{40 \cdot 11,5 (100)} = 5,73 \text{ см}; N \cdot e = 263,8 \cdot 10^3 \cdot 56,5 = 149,1 \text{ кНм} <$$

$$< R_{pp} \cdot b \cdot X (h_0 - 0,4X) + R_{ac} \cdot F_a (h_0 - a) = 11,5 \cdot 40 \cdot 5,73 \cdot (36 - 0,4 \cdot$$

$\cdot 5,73) + 340 \cdot 6,28(36-4)](100) = 157,2$  кНм; несущая способность обеспечена, но расход арматуры увеличился на  $\frac{6,28-4,02}{4,02} \cdot 100\% = 56,2\%$ ; расчет по первой простой и второй более трудоемкой как для составных стержней методикам дает экономию арматуры.

## 2) Расчет колонны в стадии транспортирования

Нагрузка от собственного веса с учетом коэффициента динамичности  $q = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 25 \cdot 1,5 = 6$  кН/м. К моменту транспортировки бетон наберет прочность  $0,8 R = 0,8 \cdot 30 = 24$  МПа;  $R_{np} = 9,2$  МПа;  $E_s = 0,189 \cdot 10^5$ ; МПа  $R_{ps} = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2$  МПа; расчетная схема колонны при транспортировке показана на рис. 6,7; моменты:  $M_1 = \frac{q \cdot c^2}{2} = \frac{6 \cdot 1,5^2}{2} = 6,7$  кН м;  $M_2 = \frac{q}{2} \left( -\frac{l^2}{4} - c^2 \right) = \frac{6}{2} \left( -\frac{5,4^2}{4} - 1,5^2 \right) = 17,9$  кН м; так как максимальный изгибающий момент при транспортных нагрузках значительно меньше эксплуатационного, то при симметричном армировании необходимости в проверке прочности нет.

Для расчета по образованию трещин находим:  $\sigma_a = \frac{2 \cdot 10^5}{0,189 \cdot 10^5} = 10,6$ ;  $J_{on} = 213333 + 2 \cdot 10,6 \cdot 6,28 \cdot (0,5 \cdot 40 - 4)^2 = 247415,8$ , см<sup>4</sup>;  
 $W_0 = \frac{J_{on}}{0,5h} = \frac{247415,8}{0,5 \cdot 40} = 12370,8$  см<sup>3</sup>;  $W_T = 1,75 W_0 = 1,75 \cdot 12370,8 = 21648,9$  см<sup>3</sup>;  $M = R_{ps} \cdot W_T = 1,2(100) \cdot 21648,9 \cdot 10^{-5} = 25,98$  кНм  $> M_2 = 17,9$  кНм; следовательно, трещины в колонне при ее транспортировке не образуются.

Конструирование колонны показано на рис. 6,7,а.

## 6.7. Фундамент

### Исходные данные

Сечение колонны 40 x 40 см. Глубина заложения фундамента  $h = 1,65$  м. Бетон фундамента марки 200:  $R_{пр} = 7,6$  МПа;  $R_p = 0,95$  МПа; рабочая арматура по стали класса А-III:  $R_a = 270$  МПа; расчетное давление на грунт  $R_{гр} = 236$  кН/м<sup>2</sup>. Расчетная схема фундамента показана на рис. 6.7.

В качестве расчетных приемем две комбинации усилий [142]: первая  $M = 74,2$  кН м;  $M^H = 61,8$  кН м;  $N = 271,8$  кН;  $N^H = 236,3$  кН;  $Q = 16,3$  кН;  $Q^H = 13,4$  кН; вторая  $M = -67,9$  кН м;  $M^H = -56,6$  кН м;  $N = 341,8$  кН;  $N^H = 297,2$  кН;  $Q = -15,2$  кН;  $Q^H = -12,7$  кН. Нагрузка от стен  $P = 98$  кН;  $P^H = 89$  кН;  $e = 30$  см.

### Определение размеров

Усилия по первой комбинации загрузки при  $H_0 = 1,65 - 0,15 = 1,5$  м:  $M^H = 61,8 + 13,4 \cdot 1,5 + 89 \cdot 0,3 = 108,6$  кН м;  $N^H = 236,3 + 89 = 325,3$  кН;  $C_0 = 0,334$  м; при второй комбинации:  $M^H = -56,6 - 12,7 \cdot 1,5 + 89 \cdot 0,3 = -49$  кН м;  $N^H = 297,2 + 89 = 386,2$  кН;  $C_0 = 0,127$  м; при треугольной шпуре  $C_0 < A/6$ , откуда  $A > 6 \cdot C_0 = 6 \cdot 0,334 = 2,0$  м;  $A > 6 \cdot 0,127 = 0,76$  м; принимаем нечетные размеры:  $A = 2,1$  м;  $B = 0,8 \cdot 2,1 = 1,7$  м;  $F = A \cdot B = 2,1 \cdot 1,7 = 3,57$  м<sup>2</sup>;  $P_\phi^H = \gamma_\phi \cdot A \cdot B \cdot H = 20 \cdot 2,1 \cdot 1,7 \cdot 1,65 = 117,8$  кН;  $W = \frac{B \cdot A^2}{6} = \frac{1,7 \cdot 2,1^2}{6} = 1,4$  м<sup>3</sup>;  
 $N_\phi^H = N^H + P_\phi^H = 325,3 + 117,8 = 443,1$  кН;  $M_\phi^H = M^H + Q^H \cdot H = 108,6 + 13,4 \cdot 1,65 = 130,71$  кН м;  $N_\phi^H = N^H + P_\phi^H = 386,2 + 117,8 = 504,0$  кН;  
 $M_\phi^H = M^H + Q^H \cdot H = -49 + 12,7 \cdot 1,65 = -70$  кН м;  $\sigma_{max}^H = \frac{N_\phi^H}{F} \pm \frac{M_\phi^H}{W} = \frac{443,1}{3,57} \pm \frac{130,71}{1,40} = 124,1 \pm 93,4 = \frac{217,5}{30,7}$  кН/м<sup>2</sup>  $< 1,2 R_{гр}^H = 283,2$  кН/м<sup>2</sup>  $> 0$ ;  
 $\sigma_{max}^H = \frac{504,0}{3,57} \pm \frac{70}{1,4} = 141,1 \pm 50 = \frac{191,1}{91,1}$  кН/м<sup>2</sup>  $> 0$   $< 1,2 R_{гр}^H = 1,2 \cdot 236 = 283,2$  кН/м<sup>2</sup>; размеры фундамента достаточны.

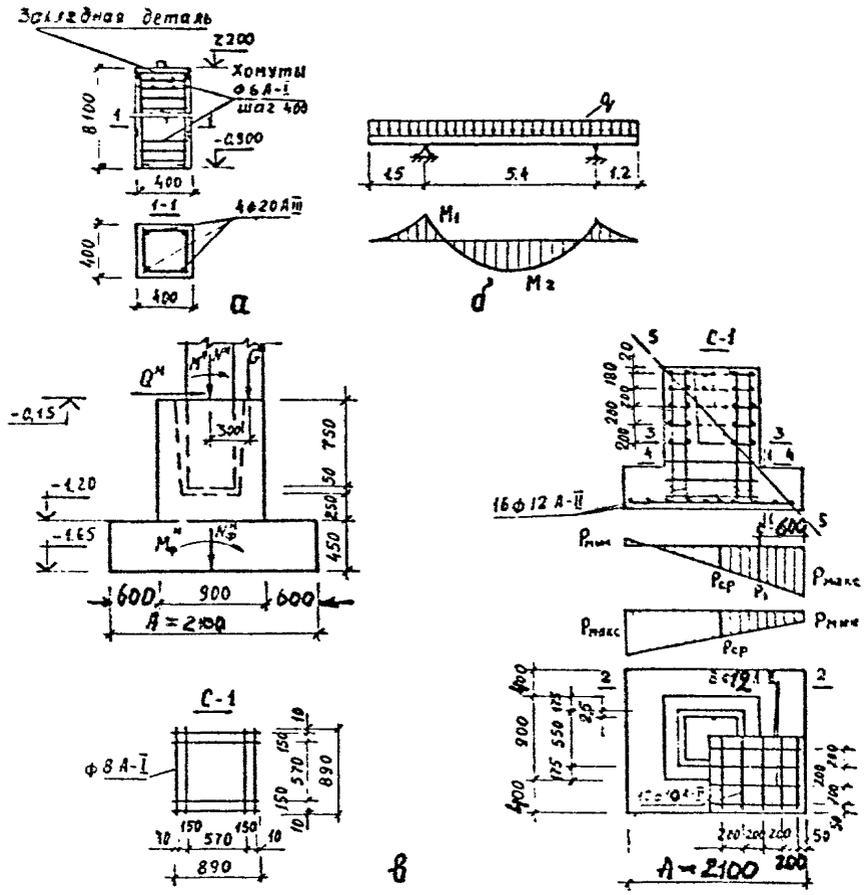


Рис. 6.7.

Колонна. Фундамент;

а - армирование колонны; б - расчетная схема колонны при

транспортировании; в - конструкция и армирование фундамента

Расчет на прочность

$$\begin{aligned} \text{Условия: } M_{\phi} &= 74,2 + 16,3 \cdot 1,5 + 98 \cdot 0,3 = 128,4 \text{ кН м; } N_{\phi} = 271,8 + \\ &+ 98 + 117,8 \cdot 1,1 = 500 \text{ кН; } M_{\phi} = -67,9 - 15,2 \cdot 1,5 + 98 \cdot 0,3 = -61,3 \\ \text{кН м; } N_{\phi} &= 341,8 + 98 + 117,8 \cdot 1,1 = 569,4 \text{ кН; } \sigma_{\max} = \frac{N_{\phi}}{F} \pm \frac{M_{\phi}}{W} = \\ &= \frac{500}{3,57} \pm \frac{128,4}{1,4} = 140,1 \pm 91,7 = \frac{231,8}{48,4} \text{ кН/м}^2 = \frac{0,232}{0,0484} \text{ МПа; } \sigma_{\max} = \\ &= \frac{N_{\phi}}{F} \pm \frac{M_{\phi}}{W} = \frac{569,4}{3,57} \pm \frac{61,3}{1,4} = 159,5 \pm 43,8 = \frac{203,3}{115,7} \text{ кН/м}^2 = \frac{0,203}{0,116} \end{aligned}$$

МПа; проверяем на продавливание:  $F_{\text{осн}} = (b_s + 2h_s)(a_s + 2h_s) = (0,90 + 2 \cdot 0,41)(0,90 + 2 \cdot 0,41) = 1,72 \times 1,72 = 2,96 \text{ м}^2$ ;  $P = N - \sigma_{\text{сп}} \cdot F_{\text{осн}} = 500 - 231,8 \cdot 2,96 = -186,1 < 0$ ; расчет на продавливание не требуется.

$$\begin{aligned} \text{Момент в сечении I-I: } M_1 &= \sigma_{\max} \frac{c^2}{2} \cdot B = 231,8 \cdot \frac{0,46^2}{2} \cdot 1,7 = 70,9 \\ \text{кН м; площадь сечения арматуры } F_{a1} &= \frac{M}{0,9 \cdot h_0 \cdot R_a} = \frac{70,9 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 41 \cdot 270(100)} = \\ &= 7,1 \text{ см}^2; \text{ принимаем в направлении размера А: } \frac{170 - 2 \cdot 5}{2} = 8 \text{ } \phi \cdot 12 \\ \text{А-П с } F_a &= 9,05 \text{ см}^2; \text{ в направлении В: } M_2 = \sigma_{\max} \frac{c^2}{2} \cdot A = 231,8 \cdot \frac{0,4^2}{2} = \\ &= 2,1 = 38,9 \text{ кН м; } F_{a2} = \frac{M_2}{0,9 \cdot h_0 \cdot R_a} = \frac{38,9 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 41 \cdot 270(100)} = 3,9 \text{ см}^2; \\ \text{принимаем } \frac{210 - 2 \cdot 5}{2} &= 10 \text{ } \phi \cdot 10 \text{ А-П по конструктивным соображениям} \\ \text{с } F_a &= 7,85 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Конструирование фундамента показано на рис. 6.7.

Подходонник армируем по конструктивным соображениям по 4  $\phi$  12 А-П с каждой стороны с  $F_a = F_a' = 4,52 \text{ см}^2$  [142].

## 6.8. Трехшарнирная рама

Исходные данные, нагрузки, усилия

Рама (рис.6.8) изготавливается из бетона марки ЭСО, основные характеристики которого при  $m_{бл} = 0,8$  следующие :  $R_{нр} = 11,5$  МПа ;  $R_p = 1,2$  МПа;  $K_{нр} = 0,6$  МПа см<sup>1/2</sup>;  $R_{нр} = 16$  МПа;  $R_{пн} = 1,4$  МПа ;  $K_{нр} = 0,9$  МПа см<sup>1/2</sup>;  $R_0 = 0,236 \cdot 10^5$  МПа;  $\nu_0 = 0,79$ ;  $\nu = \nu_0 \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,474$ ;  $\nu_t = 0,14$  ;  $\varphi_m^H = 6$ ;  $\epsilon_{mb} = 230 \cdot 10^{-5}$ ;  $R_{ac} = \epsilon_{mb} \cdot E_0 = 230 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5 = 460$  МПа  $> R_0 = 340$  МПа;  $R_{ac} = 340$  МПа. Основная продольная арматура из стали класса А-III:  $R_a = R_{ac} = 340$  МПа;  $R_0 = 2 \cdot 10^5$  МПа; поперечная арматура из стали класса А-I  $R_{0x} = 170$  МПа; к конструкции предъявляются требования 3-й категории трещиностойкости ; расчетный пролет  $l_0 = 21$  м; высота стойки равна расстоянию от центра опорного шарнира до ее верха  $H_H = 3,04$  м; расчетная высота рамы  $H = 3,04 + 2,55 = 5,59$  м.

Сбор нагрузок и статический расчет рамы приведен как трехшарнирной системы. Эпюры  $M$ ,  $N$  и  $Q$  от постоянной и от временных нагрузок показаны на рис.6.9 . Используем для расчета полученные усилия от всех нагрузок и их расчетные сочетания [142] .

Расчет прочности нормальных сечений

Сечения рамы в плоскости работают в основном на внецентренное сжатие, а сечения 1-1 и 5-5 на сжатие со случайными эксцентриситетами. Расчетные длины : стойки  $l_0 = 3,5$  м, ригеля  $l_0 = \sqrt{10,49^2 + 2,625^2} = 10,81$  м . Расчет производим более нагруженных сечений при  $\xi_0 = 0,9 - 0,008 \cdot R_{нр} = 0,9 - 0,008 \cdot 11,5 = 0,808$  ;  $\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{G_A}{R_{ac}} \left(1 - \frac{\xi_0}{1,4}\right)} = \frac{0,808}{1 + \frac{340}{340} \left(1 - \frac{0,808}{1,4}\right)} = 0,578$ ;  $\Delta_R = \xi_R \left(1 - 0,4 \xi_R\right) = 0,578 \cdot \left(1 - 0,4 \cdot 0,578\right) = 0,44$  .

Сечение 4-4,а : сечение двутавровое, его размеры показаны на рис.6.8 ; расчетные усилия в сечении :  $M = 225,57$  кНм;  $N = 103,29$ кН;

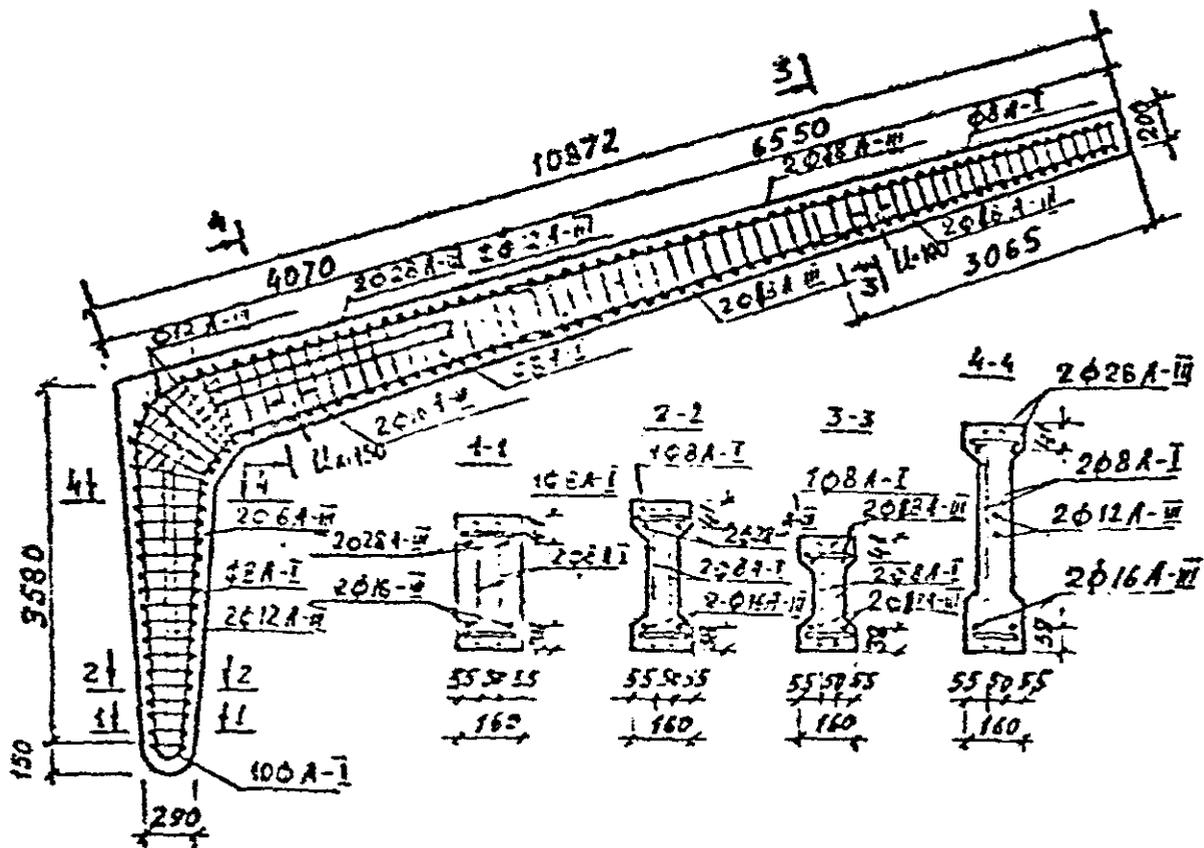
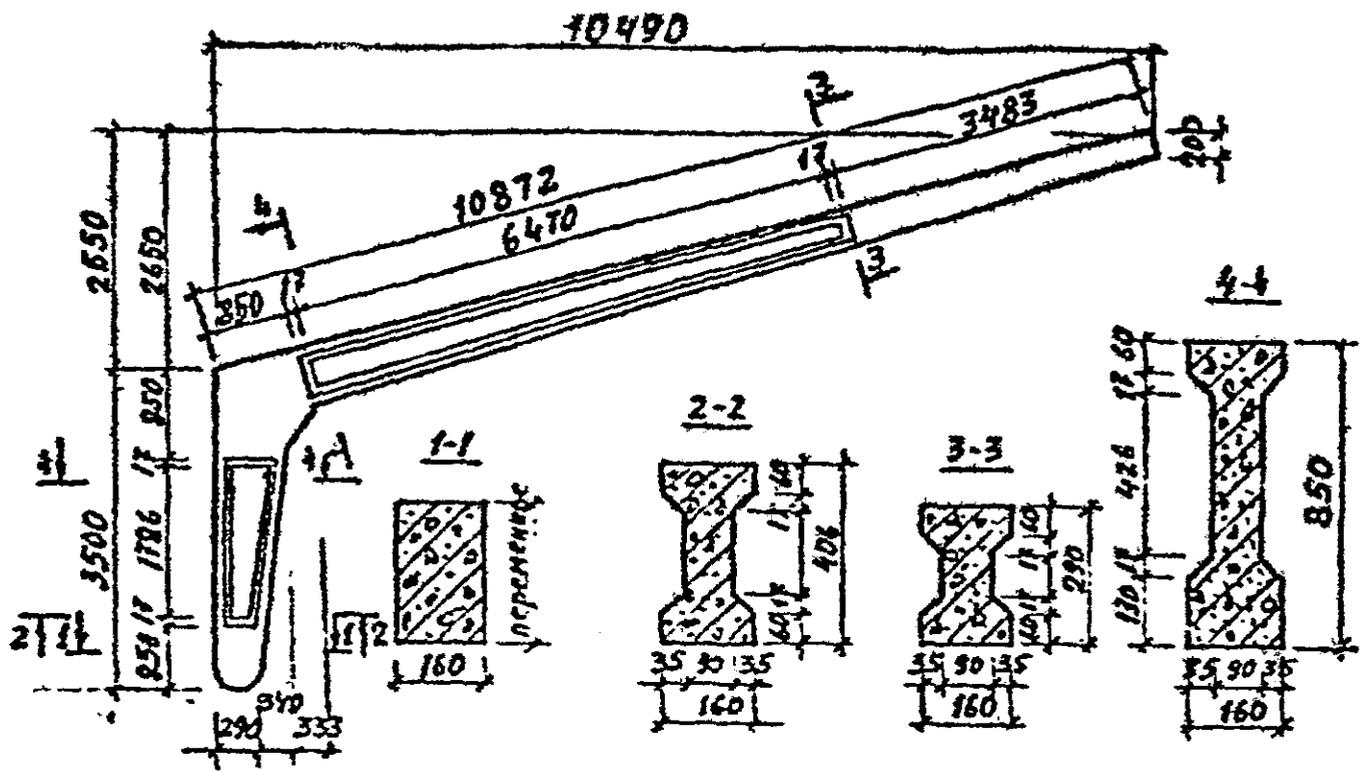


Рис. 6.8. Конструкция трехрядной рамы:  
 а — конструкция рамы, сечения;  
 б — армирование рамы, сечения

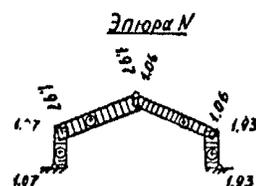
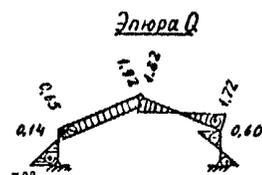
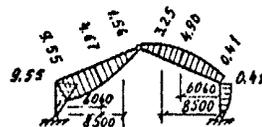
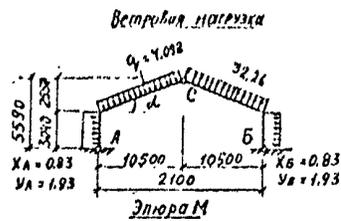
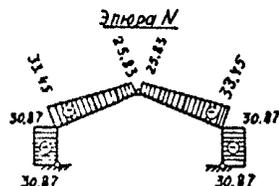
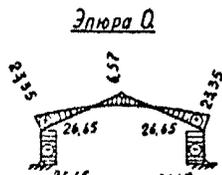
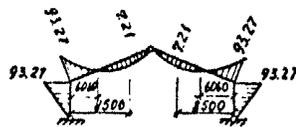
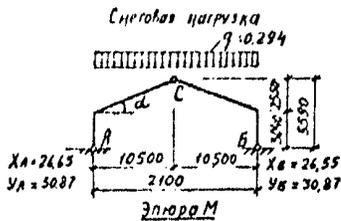
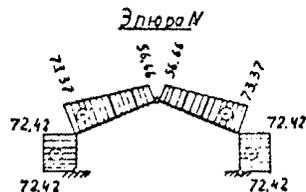
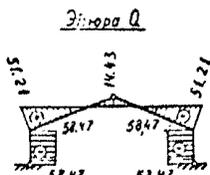
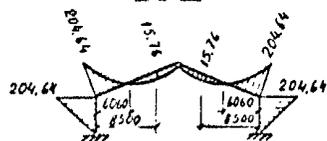


Рис. 6.9. Расчетная схема рамы, схемы загрузки и эпюры  $M$ ,  $N$  и  $Q$  при постоянной (а), снеговой (б) и ветровой (в) нагрузках, соответственно кНм, кН

$$M_{дл} = 154,95 \text{ кНм}; N_{дл} = 72,42 \text{ кН}; C_0 = \frac{225,57 \cdot 10^5}{103,29 \cdot 10^3} = 219 \text{ см}; C_{0,дл} =$$

$$= \frac{154,95 \cdot 10^5}{72,42 \cdot 10^3} = 212,3 \text{ см}; \text{ наибольшая величина лучающего эксцентриситета: } C_0' = \frac{h}{30} = \frac{65}{30} = 2,2 \text{ см}; I \text{ см}; \frac{l_0}{600} = \frac{1081}{600} = 1,8 \text{ см}; \text{ для}$$

$$\text{расчета принимаем эксцентриситеты: } C_0 = 219 + 2,2 = 221,2 \text{ см};$$

$$C_{0,дл} = 212,3 + 2,2 = 214,5 \text{ см}; \text{ гибкость } \lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{1081}{0,289 \cdot 65} =$$

$$= 56,8 > 14; \text{ необходимо учитывать устойчивость: } h_0 = h - a =$$

$$= 65 - 4 = 61 \text{ см}; z_a = h_0 - a' = 61 - 4 = 57 \text{ см}; J_y = \frac{16 \cdot 65^3}{12} =$$

$$= \frac{7,44^3}{12} = 316476 \text{ см}^4; N_0 = \frac{B_0}{B_f} = \frac{2 \cdot 10^5}{0,236 \cdot 10^5} = 8,47; f_m = \frac{1}{200} l_0 =$$

$$= \frac{1}{200} \cdot 1081 = 5,4 \text{ см}; \eta = 1 + \frac{f_m}{C_0} = 1 + \frac{5,4}{221,2} = 1,024; e = C_0 \cdot \eta +$$

$$+ 0,5h - a = 221,2 \cdot 1,024 + 0,5 \cdot 65 - 4 = 255 \text{ см}; F_a' =$$

$$= \frac{Ne - A_s \cdot b h_0^2 \cdot R_{np} - (b_n - b) h_n \cdot R_{np} (h_0 - 0,5 h_n')}{R_{ac} \cdot z_a} =$$

$$= \frac{103290 \cdot 255 - 0,44 \cdot 9 \cdot 61^2 \cdot 11,5(100) - (16 - 9) \cdot 6,5 \cdot 11,5 (61 -$$

$$- 0,5 \cdot 6,5)(100) = 3,25 \text{ см}^2; \text{ принимаем 2 } \emptyset 16 \text{ А-III с } F_a' = 4,02 \text{ см}^2;$$

$$A_0 = \frac{Ne - R_{ac} \cdot F_a' \cdot z_a - (b_n' - b) h_n' \cdot R_{np} (h_0 - 0,5 h_n')}{b \cdot h_0^2 \cdot R_{np}} =$$

$$= \frac{103290 \cdot 255 - 340 \cdot 4,02 \cdot 57(100) - (16 - 9) \cdot 6,5 \cdot 11,5(61 - 0,5 \cdot 6,5)(100)}{9 \cdot 61^2 \cdot 11,5(100)}$$

$$= 0,4 < \lambda_R = 0,44; \text{ по табл. 3.1 прил.3 Рекомендаций определяем}$$

$$\xi = 0,5; X = \xi h_0 = 0,5 \cdot 61 = 30,5 \text{ см}; F_a = \xi b h_0 \frac{R_{np}}{R_a} + (b_n -$$

$$- b) h_n' \frac{R_{np}}{R_a} + F_a' \frac{R_{ac}}{R_a} = \frac{N}{R_a} = 0,5 \cdot 9 \cdot 61 \frac{11,5}{340} + (16 - 9) \cdot 6,5 \frac{11,5}{340} +$$

$$+ 4,02 \frac{340}{340} = 11,8 \text{ см}^2; \text{ принимаем 2 } \emptyset 28 \text{ А-III с } F_a =$$

$$= 12,32 \text{ см}^2.$$

$$\text{Сечение 3-3: сечение прямоугольное: высота } h = 22,5 \text{ см}; h_0 =$$

$$= h - a = 22,5 - 4 = 18,5 \text{ см}; \text{ ширина } b = 16 \text{ см}; z_a = h_0 - a' =$$

$$= 18,5 - 4 = 14,5 \text{ см}; M = 23,65 \text{ кНм}; N = 82,62 \text{ кН}; M_{дл} = 15,76 \text{ кНм};$$

$$N_{дл} = 59,84 \text{ кН}; \text{ эксцентриситеты: } C_0 = \frac{23,65 \cdot 10^5}{82,62 \cdot 10^3} = 28,63 \text{ см}; C_{0,дл} =$$

$$= \frac{15,76 \cdot 10^5}{59,84 \cdot 10^3} = 26,34 \text{ см}; C_0^{\text{эл}} = \frac{l_e}{600} = \frac{1081}{600} = 1,8 \text{ см}; i \text{ см}; \frac{h}{30} =$$

$$= \frac{22,5}{30} = 0,75 \text{ см}; \text{ для расчета принимаем эксцентриситет } : C_0 =$$

$$= 28,63 + 1,8 = 30,43 \text{ см}; C_0 \text{ для } = 26,34 + 1,8 = 28,14 \text{ см}; f_m = \frac{1}{200} \times$$

$$l_e = \frac{1}{200} \cdot 1081 = 5,4 \text{ см}; \text{ глубокость } \lambda = \frac{l_e}{z} = \frac{1081}{0,289 \cdot 22,5} = 166 > 14;$$

учитываем устойчивость :  $\eta_{\text{нр}} = 1 + \frac{f_m}{C_0} = 1 + \frac{5,4}{30,43} = 1,177$  ;  $\eta_{\text{ак}} =$

$$= 1 + \frac{5,4}{28,14} = 1,192$$
 ;  $e = C_0 \cdot \eta + 0,5 h - a = 30,43 \cdot 1,177 + 0,5 \times$ 

$$\times 22,5 - 4 = 43 \text{ см}; F_a = F'_a = \frac{N \left( e - h_0 + \frac{N}{2b \cdot R_{\text{сп}}} \right)}{R_a Z_a} =$$

$$= \frac{82,62 \cdot 10^3 (43 - 18,5 + \frac{82,62 \cdot 10^3}{2 \cdot 16 \cdot 11,5 \cdot 100})}{340 \cdot 14,5 \cdot (100)} = 4,48 \text{ см}^2; \text{ принимаем}$$

2  $\emptyset$  18 с  $F_a = F'_a = 5,09 \text{ см}^2$ ; проверяем сечение по прочности :

$$\chi = \frac{N}{b \cdot R_{\text{сп}}} = \frac{82,62 \cdot 10^3}{16 \cdot 11,5 \cdot (100)} = 4,5 \text{ см}; Ne = 82,62 \cdot 0,43 = 35,5 \text{ кНм} <$$

$$< R_{\text{сп}} \cdot b \cdot \chi \cdot (h_0 - 0,4 \chi) + R_{\text{ас}} \cdot F'_a \cdot Z_a = [11,5 \cdot 16 \cdot 4,5 (18,5 - 0,4 \cdot 4,5) +$$

$$+ 340 \cdot 5,09 \cdot 14,5] \cdot (100) = 38,9 \text{ кНм}; \text{ прочность обеспечена.}$$

#### Расчет прочности наклонных сечений

В пределах стойки максимальная поперечная сила  $Q = 58,47 +$

$$+ 26,65 = 85,12 \text{ кН. Для расчета возьмем сечение в месте изменения}$$

сечения от прямоугольника к двутавру  $h = 40,6 \text{ см}; h_0 = 36,6 \text{ см};$

$$b = 9 \text{ см. Условие } Q = 85120 < 0,35 R_{\text{сп}} \cdot b \cdot h_0 = 0,35 \cdot 11,5 \cdot (100) \cdot 9 \times$$

$$\times 36,6 = 132584 \text{ Н}$$
 соблюдается, следовательно, размеры сечения до-  
 статочно. Так как  $Q = 85120 > N_y \cdot R_p \cdot b \cdot h_0 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 9 \cdot 36,6 \cdot (100) =$ 

$$= 19764 \text{ Н, то необходим расчет поперечной арматуры. Сечение имеет}$$

по углам 4 продольных стержня, объединенных в два плоских каркаса

$$\eta_x = 2 \cdot \frac{Q_{\text{хпр}}}{K_2 \cdot b \cdot h_0^2 \cdot R_p} = \frac{85120^2}{4 \cdot 1,75 \cdot 9 \cdot 36,6^2 \cdot 1,2 \cdot (100)} = 715,5 \text{ Н/см} >$$

$$> \frac{R_p \cdot b}{2} = \frac{1,2 \cdot 9 \cdot (100)}{2} = 540 \text{ Н/см}; U_{\text{мг}} = \frac{0,75 \cdot K_2 \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2}{85120} =$$

$$= \frac{0,75 \cdot 1,75 \cdot 1,2 \cdot 9 \cdot 36,6^2 \cdot (100)}{85120} = 22,3 \text{ см}; U_x \leq 15 d = 15 \cdot 1,6 =$$

$$= 24 \text{ см}; \text{ при } h = 40,6 < 45 \text{ см}; U_x \leq \frac{h}{2} = 20,3 \text{ см и } < 15 \text{ см};$$

принимаям  $U_x = 15$  см;  $f_{ax} = \frac{q_{xnp} \cdot U_x}{R_{ax} \cdot \pi_x} = \frac{715,5 \cdot 15}{170 \cdot 2 \cdot (100)} = 0,315 \text{ см}^2$

принимаям  $\phi$  в А-I с  $f_{ax} = 0,503 \text{ см}^2$ ; проверяем несущую способность:  $q_x = \frac{R_{ax} \cdot f_{ax} \cdot \pi_x}{U_x} = \frac{170 \cdot 0,503 \cdot 2 \cdot (100)}{15} = 1140 \text{ Н/см}$ ;  $Q_{xs} =$

$$= 2 \sqrt{q_x \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2} = 2 \sqrt{1,75 \cdot 1,2 \cdot 9 \cdot 36,6^2 \cdot 1140 \cdot (100)} = 107447 \text{ Н}$$

$> Q = 85120 \text{ Н}$ ; условие выполнено.

В пределах ригеля расчет поперечной арматуры производим в двух сечениях: сечение 4-4 (у опоры) и сечение 5-5 (у конька).

Сечение 4-4: так как  $Q = 66,36 \text{ кН} < 0,35 R_{pp} \cdot b \cdot h_0 = 0,35 \cdot 11,5 \cdot (100) \cdot 9 \cdot 61 = 220,97 \text{ кН}$ , то размеры сечения достаточны; если

$Q = 66,36 > R_p \cdot b \cdot h_0 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 9 \cdot 61 \cdot (100) = 32,94 \text{ кН}$ , то расчет поперечной арматуры требуется; при  $\pi_x = 2$ ;  $q_{xnp} = \frac{Q^2}{4 \cdot K_2 \cdot b \cdot h_0^2 \cdot R_p}$

$$= \frac{66360^2}{4 \cdot 1,75 \cdot 9 \cdot 61^2 \cdot 1,2 \cdot (100)} = 156,5 < \frac{R_p \cdot b}{2} = \frac{1,2 \cdot 9 \cdot (100)}{2} =$$

$= 540 \text{ Н/см}$ ; принимаем  $q_x = 540 \text{ Н/см}$ ;  $U_{mx} = \frac{0,75 \cdot K_2 \cdot b \cdot h_0^2 \cdot R_p}{Q}$

$$= \frac{0,75 \cdot 1,75 \cdot 9 \cdot 61^2 \cdot 1,2 \cdot (100)}{66360} = 79,5 \text{ см}; U_x < 15d = 24 \text{ см};$$

$$U_x \leq \frac{h}{3} = \frac{65}{3} = 21 \text{ см при } h > 450; \text{ принимаем } U_x = 20$$

см;

$$f_{ax} = \frac{q_{xnp} \cdot U_x}{R_{ax} \cdot \pi_x} = \frac{540 \cdot 20}{170 \cdot 2 \cdot (100)} = 0,318 \text{ см}^2; \text{ принимаем}$$

$\phi$  в А-I с  $f_{ax} = 0,503 \text{ см}^2$ ; проверяем несущую способность:

$$q_x = \frac{170 \cdot (100) \cdot 0,503 \cdot 2}{20} = 855,1 \text{ Н/см};$$

$$Q_{xs} = 2 \sqrt{K_2 \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2 \cdot q_x} = 2 \sqrt{1,75 \cdot 1,2 \cdot (100) \cdot 9 \cdot 36,6^2 \cdot 855,1} =$$

$= 93057 \text{ Н} > Q = 66360 \text{ Н}$ ; условие соблюдено.

Сечение 5-5 :  $Q = 21000 \text{ Н} < 0,35 \cdot 11,5(100) \cdot 9 \cdot 15,4 = 55790 \text{ Н}$ , т.е. размеры сечения достаточны; т.к.  $Q = 21000 > K_1 \cdot R_p \cdot b \cdot h_0 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 9 \cdot 15,4 = 8320 \text{ Н}$ , то требуется расчет поперечной арматуры;

$$q_{x,тр} = \frac{Q^2}{4K_2 \cdot b \cdot h_0^2 \cdot R_p} = \frac{21000^2}{4 \cdot 1,75 \cdot 9 \cdot 15,4^2 \cdot 1,2(100)} = 246 \text{ Н/см} < \frac{R_p \cdot b}{1,2 \cdot 9(100)} = 540 \text{ Н/см}; \text{ принимаем } q_x = 540 \text{ Н/см};$$

$$u_{тх} = \frac{0,75 \cdot K_2 \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2}{Q} = \frac{0,75 \cdot 1,75 \cdot 1,2(100) \cdot 9 \cdot 15,4^2}{21000} = 16 \text{ см}; u_x < 15d = 15 \cdot 1,6 = 24 \text{ см}; \text{ принимаем } u_x = 15 \text{ см}; f_{ax} = \frac{540 \cdot 15}{170 \cdot 2(100)} = 0,238 \text{ см}^2;$$

принимаем  $\phi 6 \text{ А-I}$  с  $f_{ax} = 0,283 \text{ см}^2$ ; проверяем несущую способность

$$q_x = \frac{170(100) \cdot 0,283 \cdot 2}{15} = 641,5 \text{ Н/см}; Q_{до} = 2\sqrt{K_2 \cdot R_p \cdot b \cdot h_0^2 \cdot q_x} = 2\sqrt{1,75 \cdot 1,2(100) \cdot 9 \cdot 15,4^2 \cdot 641,5} = 33,9 \text{ кН} > Q = 21000 \text{ Н}; \text{ условие соблюдено.}$$

Расчет на образование и раскрытие нормальных трещин

Сечение 4-4 : усиления:  $M^H = \frac{154,95}{1,15} + \frac{70,62}{1,4} = 185,18 \text{ кНм};$

$$M_{gr}^H = \frac{154,95}{1,15} = 134,74 \text{ кНм}; N^H = \frac{72,42}{1,15} + \frac{30,87}{1,4} = 85,02 \text{ кН}; N_{gr}^H = \frac{72,42}{1,15} = 62,97 \text{ кН}; \text{ эксцентриситет } : C_o = \frac{185,18}{85,02} = 2,178 \text{ м};$$

$$C_{одн} = \frac{134,74}{62,92} = 2,14 \text{ м}; \text{ геометрические характеристики } : F_{bn} = 65 \cdot$$

$$\cdot 16 - 2 \cdot 3,5 \cdot (42,6 + 1,7) + 8,47(4,02 + 16,08) = 900,3 \text{ см}^2; S_{bn} = 65^2 \cdot 16 \cdot 0,5 - 2 \cdot 3,5(42,6 + 1,7)(6,5 + 1,7 + 0,5 \cdot 42,6) + 8,47 \cdot$$

$$\cdot [16,08 \cdot 2 + 4,02(65 - 4)] = 27001,4 \text{ см}^3; y_H = \frac{S_{bn}}{F_{bn}} = \frac{27001,4}{900,3} =$$

$$= 30,0 \text{ см}; J_{bn} = \frac{bh^3}{12} + \frac{(b'_n - b)h_n^3}{12} + \frac{(b_n - b)h_n^3}{12} + bh \cdot c^2 +$$

$$+ (b'_n - b)h_n(y_B - a')^2 + (b_n - b)h_n(y_H - a)^2 + n_a$$

$$\cdot [F_a(y_H - a)^2 + F'_a(y_B - a')^2] = \frac{9 \cdot 65^3}{12} + \frac{(16 - 9)13,85^3}{12} + 9 \cdot$$

$$65 \cdot 2,5^2 + (16 - 9) \cdot 6,85(35 - \frac{6,85}{2})^2 + (16 - 9) \cdot 13,85(30 - \frac{13,85}{2}) +$$

$$+ 8,47 [4,02(30 - 4)^2 + 16,08(35 - 4)^2] = 464692 \text{ см}^4; W_o = \frac{J_{bn}}{y_H} =$$

$$= \frac{454692}{30,0} = 15490 \text{ см}^4. \quad \gamma_1 = \frac{(b_1 - b) h_0}{b \cdot h}$$

$$= \frac{(16-9)(6,5 + 0,5 \cdot 1,7)}{9,65} = 0,09; \quad \gamma'_1 = \frac{(b'_1 - b) h'_1 + \frac{\pi a}{4} F_a}{b \cdot h}$$

$$= \frac{(16-9)(13+0,5 \cdot 1,7) + 0,474 \cdot 3,08}{9,65} = 0,26; \quad U_0 = 0,45 \text{ для тавровых сечений при } x < h'_1$$

при  $h'_1 = 6,5 \text{ см}$   $\chi_T = 0,25h = 0,25 \cdot 6,5 = 16,25 \text{ см}$ ;  $\mu_a = \frac{F_a}{F_{\text{ан}} - \pi a (F'_a + F'_1)} = \frac{F_a}{900,3 - 8,47(16,08 + 4,02)}$

$$= 0,022; \quad W_T = [U_0 + 0,75 (\gamma_1 + \frac{\mu_a \cdot \pi a}{\gamma}) + 0,15 \gamma'_1] b h^2 = [0,45 + 0,75(0,09 + \frac{0,022 \cdot 8,47}{0,474}) + 0,15 \cdot 0,26] \cdot 9,65^2 = 32372 \text{ см}^3$$

$$M_T = R_{\mu} W_T = 1,4(100) \cdot 32372 = 4532080 \text{ Н см} = 45,32 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$M = N \cdot \chi_1$ , где  $\chi_1$  - расстояние от внешней силы до центра тяжести скатой зоны;  $\chi_1 = 0,8 \frac{W_0}{F_{\text{ан}}} = 0,8 \frac{15490}{900,3} = 13,76 \text{ см}$ ;

$\chi_1 = C_0 + \chi_2 = 217,8 + 13,76 = 231,6 \text{ см}$ ;  $M = N \cdot \chi_1 = 85,02 \cdot 231,6 \cdot 10^{-2} = 196,91 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ; так как  $M_T < M$ , то трещины образуются и необходим расчет по их раскрытию.

Расчет на раскрытие трещин

$M'' = 185,18 \text{ кН}$ ;  $M_{a\text{ан}}'' = 134,74 \text{ кН м}$ ;  $N'' = 85,02 \text{ кН}$ ;  $N_{a\text{ан}}'' = 62,97 \text{ кН}$ ;

$C_0 = 2,178 \text{ м}$ ;  $C_{0a\text{ан}} = 2,14 \text{ м}$ ;  $\Delta \sigma_a = [\sigma_a - \frac{\pi a}{4} R_{\mu} \gamma]$ ,

$$\Delta \sigma_a = \pi a \left[ \frac{M''}{I} y_{a\text{ан}} - \frac{N''}{F_{\text{ан}}} - \frac{R_{\mu} \gamma}{4} \right] = 8,47 \cdot \left[ \frac{185,18 \cdot 10^5 (35-4)}{464692(100)} - \frac{85,02 \cdot 10^3}{900,3(100)} - \frac{1,4}{0,474} \right] = 71,62 \text{ МПа}; \quad a_{\text{ткр}}''$$

$$= k \cdot C_0 \cdot \eta_a \cdot \frac{\Delta \sigma_a}{E_a} \cdot 20 \cdot (3,5 - 100 \mu_a) \sqrt{d} = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \frac{71,62}{2 \cdot 10^5} \cdot 20$$

$$\cdot (3,5 - 100 \cdot 0,022) \sqrt{32} = 0,04 \text{ мм} < [a_{\text{ткр}}] = 0,4 \text{ мм}; \text{ при длительном действии нагрузки } \Delta \sigma_{a\text{ан}}'' = 8,47 \frac{134,74 \cdot 10^5 (35-4)}{464692(100)} - \frac{62,97 \cdot 10^3}{900,3(100)}$$

$$= \frac{1,4}{0,474} = 45,2 \text{ МПа}; \quad a_{\text{ткр}}'' = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1 \frac{45,2}{2 \cdot 10^5} \cdot 20 \cdot (3,5 - 100 \cdot 0,022)$$

$$\sqrt{32} = 0,03 \text{ мм} < [a_{\text{ткр}}] = 0,3 \text{ мм}; \quad a_T = a_{\text{ткр}}'' + a_{\text{ткр}}' = 0,04 + 0,03 = 0,07 < 0,4 \text{ мм}.$$

Критическая ширина раскрытия трещин:  $a_T = k_1 \cdot C_0 \cdot \eta_a$ .

$$= \frac{[1 - \mu'(\eta)] \cdot b \cdot K_{\text{ХСГ}}^{\eta}}{\gamma E_{\text{Б}} R_{\text{П}}^2 \Delta N} ; \Delta N_{\text{п}} = \Delta \sigma_{\text{а}} \cdot F_{\text{а}} = 71,62 \cdot 16,08 (100) = 115 \text{ кН} ; \mu'(\eta) = 0,15 + 0,3 \cdot \eta^2 = 0,15 + 0,3 \cdot 0,8^2 = 0,342 ; 1 - \mu'(\eta) = 1 - 0,342 = 0,658 ; K_{\text{ХСГ}} = 0,9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} ; \text{ширина раскрытия трещины от кратковременного действия полной нагрузки } a_{\text{ТКР}} = 4 \cdot 1,2 \cdot 1 .$$

$$\cdot \frac{0,883 \cdot 0,09 \cdot 0,9^4 (10^9)}{0,474 \cdot 2,36 \cdot 10^4 \cdot 1,4^2 \cdot 1,15 \cdot 10^5} = 0,099 \text{ мм} \approx 0,1 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм} ;$$

при длительном действии постоянных и длительных нагрузок  $\Delta N_{\text{дл}} = 45,2 \cdot 16,08 (100) = 72,7 \text{ кН} ; K_{\text{ХСГ}} = K_{\text{ХСГ}}^{\eta} \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma (1 - \mu'(\eta))}} = 0,9 \sqrt{\frac{0,11}{0,474 \cdot 0,883}} = 0,52 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} ; a_{\text{ТДЛ}} = 4 \cdot 1,5 \cdot 1 .$

$$\cdot \frac{0,883 \cdot 0,09 \cdot 0,52^4 (10^9)}{0,11 \cdot 2,36 \cdot 10^4 \cdot 1,4^2 \cdot 0,727 \cdot 10^5} = 0,092 \text{ мм} \approx 0,1 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм},$$

т.е. критическая ширина трещин не превышает допустимых.

Следует отметить, что расчетная ширина раскрытия трещин по формулам СНиП [1] всегда значительно меньше критической ширины раскрытия трещины. В таком случае рекомендуется определять только критическую ширину раскрытия трещин и сравнивать с допустимой по СНиП [1].

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

ВВЕДЕНИЕ .....	3
РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ	
1. Общие указания. Основные положения .....	6
2. Материалы для бетонных и железобетонных конструкций .....	15
3. Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы.....	32
4. Расчет элементов железобетонных конструкций по предельным состояниям второй группы.....	52
5. Конструктивные требования.....	59
РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА	
6. Шлакощелочные цементы.....	62
7. Шлакощелочные бетоны.....	68
8. Подбор составов тяжелых шлакощелочных бетонов.....	69
9. Технология производства бетонных и железобетонных конструкций.....	84
10. Техника безопасности.....	89
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение I. Основные буквенные обозначения.....	91
Приложение 2. Деформативные характеристики шлакощелочных бетонов.....	95
Приложение 3. Расчетные коэффициенты.....	102
Приложение 4. Плотность водных растворов щелоче- содержащих солей.....	109
Приложение 5. Перечень нормативных документов. Литература.....	114
Приложение 6. Расчет железобетонных конструкций сельскохозяйственных зданий.....	125

© ЦНИИЭПсельстрой, 1985 г.

Ответственные за выпуск В.А.Пахомов, В.В.Константинов

Корректор В.П.Лейбовская

---

Л 110029 Подписано в печать 10/УП-1985 г. Формат 60x84/16.  
Печать плоская. Бумага типографская. 12,03 усл.п.л. 11,6 уч.-изд.л.  
Тираж 1500 экз. Цена 2р.20 коп. Заказ 390

---

Адрес редакции: 143360, г.Апрелевка Московской области, ул.Апрелев-  
ская, 65, ЦНИИЭПсельстрой. Телефон для справок: 436-51-75.  
Типография ЦНИИЭПсельстроя