

Научно-исследовательский  
институт бетона и железобетона  
Госстроя СССР  
НИИБ

Институт строительства и  
архитектуры Госстроя СССР  
ИС и А

РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИЙ  
СО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

Р - 16 - 78

НИИБ

Утверждены

директором НИИБ  
19 января 1978 г.

директором ИС и А  
20 сентября 1977 г.

Москва - 1978

УДК 624.012.35:691.618.92

Рекомендованы к изданию секцией по коррозии, спецбетонам и физико-химическим исследованиям НТС НИИМБ Госстроя СССР (протокол от 31 августа 1977 г.).

Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой. М., НИИМБ Госстроя СССР, 1978, 21с.

Рекомендации содержат основные положения по расчету конструкций из бетона со стеклопластиковой арматурой.

Приведены требования к материалам для стеклопластбетонных конструкций. Рекомендованы области их применения.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций.

Табл. 4

© Научно-исследовательский институт бетона и железобетона  
Госстроя СССР, 1978

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Возможность применения стекловолокна для армирования бетонных конструкций обусловлена специфическими свойствами этого материала: стекловолокно имеет высокое временное сопротивление (стекловолокно алюмоборосиликатного состава диаметром 9-II мкм - 20-25 тыс. кг/см<sup>2</sup>); коэффициент температурной деформации стекла незначительно отличается от коэффициента температурной деформации бетона.

Один из способов армирования бетона стекловолокном предусматривает его применение в составе высокопрочной стеклопластиковой арматуры. Основой такой арматуры служит пучок непрерывных стеклянных волокон, объединенных в арматурный элемент синтетическим связующим, которое обеспечивает совместную работу волокон, защищает их от механических повреждений в процессе изготовления конструкций, ослабляет воздействие на стекловолокно внешней среды, в том числе среды бетона.

Стеклопластиковая арматура обладает высокими химической стойкостью и электрической прочностью; низкий модуль упругости снижает величину потерь при ее предварительном напряжении; в некоторых случаях могут быть использованы немагнитность и радиопрозрачность этого вида арматуры.

Вместе с тем прочность стеклопластиковой арматуры снижается при длительном воздействии некоторых агрессивных сред. Значительно сужает области рационального применения стеклопластиковых конструкций высокая стоимость стеклопластиков. Однако, несмотря на перечисленные недостатки, уже в настоящее время стеклопластиковая арматура может быть эффективно использована для создания из специальных бетонов несущих электроизолирующих конструкций (безызоляторных траверс опор ЛЭП, изолирующих колонн линий электропередачи высоких и сверхвысоких напряжений и т.п.) и конструкций с высокой сопротивляемостью воздействию агрессивных сред. В этих конструкциях бетон с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой успешно заменяет дефицитные и дорогие материалы.

Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование опытных конструкций из бетонов со стеклопластиковой арматурой.

Рекомендации разработаны в соответствии с главой СНиП II-21-75



"Бетонные и железобетонные конструкции" с учетом специфических свойств арматуры из стеклопластиков и особенностей ее работы в бетоне. Принимая во внимание небольшой опыт применения стеклопластиковой арматуры, каждый тип стеклопластобетонных конструкций должен подвергаться испытаниям с целью определения несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации.

В Рекомендациях обобщены результаты исследований, выполненных в НИИМБ Госстроя СССР, ИС и А Госстроя БССР и ряде других научно-исследовательских организаций. Большая часть экспериментальных данных, положенных в основу Рекомендаций, получена на круглой стеклопластиковой арматуре периодического профиля диаметром до 6 мм.

Рекомендации разработаны НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР (д-р техн. наук, проф. К.В. Михайлов, канд. техн. наук Д.М. Вильдавский) и Институтом строительства и архитектуры Госстроя БССР (кандидаты техн. наук Н.П. Фролов; И.В. Подмостко, С.С. Лавриц, Д.В. Кондратьева, К.В. Зеленский, В.Ф. Залого, инженеры Л.П. Зайцева, Л.Я. Самосик, Л.С. Фридман).

Все замечания и предложения по содержанию настоящих Рекомендаций просим направлять в НИИМБ Госстроя СССР по адресу: 109389, Москва, И-389, 2-я Институтская ул., д.6 и в ИС и А Госстроя БССР по адресу: 220023, Минск-ГСП, Староборисовский тракт.

Дирекция НИИМБ

## 1. Общие положения

I.1. Рекомендации предназначены для использования при проектировании опытных конструкций из бетонов с арматурой из высокопрочных стеклопластиков — стеклопластобетонных конструкций. Несущая способность и пригодность к нормальной эксплуатации каждого типа таких конструкций подлежат экспериментальной проверке. Массовое применение стеклопластобетонных конструкций может быть рекомендовано только после их апробации в реальных эксплуатационных условиях на объектах экспериментального строительства.

I.2. Учитывая высокую стоимость и дефицитность стеклопластиков, применение стеклопластобетонных конструкций должно в каждом конкретном случае технически и экономически обосновываться.

Стеклопластики обладают высокой стойкостью в ряде агрессивных сред, высокими электроизолирующими и рядом других специфических свойств. Использование этих свойств в первую очередь определяется целесообразность применения стеклопластиков в качестве арматуры.

Основными областями применения стеклопластиковой арматуры в бетонах являются конструкции из специальных бетонов с высокой сопротивляемостью воздействию агрессивных сред и несущие электроизолирующие конструкции.

I.3. Расчет стеклопластобетонных конструкций производится согласно СНиП II-2I-75 "Бетонные и железобетонные конструкции" с учетом специфических свойств арматуры из стеклопластиков и особенностей ее работы в бетоне, изложенных в настоящих Рекомендациях.

I.4. Вследствие низкого модуля упругости и высокой прочности стеклопластиков их применяют в качестве арматуры с предварительным напряжением. Рекомендуются продольные линейные или кольцевые арматурные элементы; в некоторых случаях допустима оттяжка линейной арматуры.

Применение стеклопластиковой арматуры для ненапряженных каркасов, сеток и хомутов в большинстве случаев нецелесообразно и их использование должно быть специально обосновано.

I.5. Стеклопластиковую арматуру напрягают механическим способом.

Мгновенная передача усилия обжатия на бетон для стеклопласти-



ковой арматуры периодического профиля не допускается.

I.6. Закладные детали в стеклопластобетонных конструкциях, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах, изготавливаются из нержавеющей стали либо из обычных сталей с защитными покрытиями.

I.7. Допускается применение смешанного армирования, когда в одном элементе наряду со стеклопластиковой арматурой устанавливаются напряженную и ненапряженную стальную арматуру (поперечную или продольную). Такое армирование должно быть специально обосновано.

I.8. К трещиностойкости стеклопластобетонных конструкций должны предъявляться требования I-й категории. Применение конструкций с трещинами требует специального обоснования.

I.9. Величины напряжений в стеклопластиковой арматуре не должны превышать расчетные сопротивления, определяемые для всех характерных фаз изготовления и работы стеклопластобетонных конструкций.

Предельную величину предварительного напряжения  $\sigma_0$  (а также  $\sigma'_0$ ) следует назначать с учетом допустимых отклонений  $\rho$ , которые принимаются равными  $0,05 \sigma_0$  ( $0,05 \sigma'_0$ ), таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\sigma_0 + \rho \leq 0,8 R_{aII}, \quad (1)$$

где  $R_{aII}$  — расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельных состояний второй группы.

I.10. Потери предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры должны определяться по табл. I, при этом суммарную величину потерь при проектировании конструкций следует принимать не менее  $500 \text{ кгс/см}^2$ .

I.11. Если, при определении потерь предварительного напряжения по табл. I, заранее известен срок загрузки конструкции, потери от усадки и ползучести бетона умножаются на коэффициент  $\beta$ , определяемый по формуле СНиП II-2I-75

$$\beta = \frac{4T}{100 + 3T} \quad (2)$$

и принимаемый не более единицы, а потери от релаксации напряжений вычисляются по формуле

$$\alpha \tau^b \bar{\sigma}_0, \quad (3)$$

где  $\tau$  - время в сутках, отсчитываемое при определении потерь от ползучести - со дня обжатия бетона, от усадки - со дня окончания бетонирования, от релаксации напряжений - со дня натяжения арматуры;

$\alpha_{nb}$  - коэффициенты, принимаемые равными соответственно 0,013 и 0,17 в воздушно-сухих условиях при температуре 20°C, 0,02 и 0,2 в воздушно-сухих условиях при температуре 80°C, 0,027 и 0,2 в водонасыщенном состоянии и температуре 20°C.

Таблица I  
Потери предварительного напряжения стекло-пластиковой арматуры

Наименование факторов, вызывающих потери предварительного напряжения	Величина потерь предварительного напряжения, кгс/см <sup>2</sup>
I	2
I. Релаксация напряжений арматуры СПА-6 (ТУ 7 БССР)	
а) в воздушно-сухих условиях при температуре 20°C	0,06 $\bar{\sigma}_0$
б) в воздушно-сухих условиях при температуре 80°C	0,11 $\bar{\sigma}_0$
в) в водонасыщенном состоянии и температуре 20°C	0,16 $\bar{\sigma}_0$
	При определении потерь от релаксации $\bar{\sigma}_0$ принимается без учета потерь в кгс/см <sup>2</sup> .
	При временном воздействии повышенной температуры и влажности в процессе изготовления или эксплуатации конструкции, релаксацию определяют по формуле п. Iа табл. I и по формуле (3) п. I. II настоящих Рекомендаций для $\tau$ с момента напря-

Продолжение табл. I

I	2
	<p>жения: арматуры до окончания действия повышенной температуры или влажности; в дальнейших расчетах принимает большее значение</p>
<p>2. Температурный перепад (разность температур натянутой арматуры и устройства, воспринимающего усилие натяжения при пропаривании или прогреве бетона, а также при экзотермическом самопрогреве полимербетона)</p>	<p><math>\alpha_{\delta t} E_a \Delta t</math>,  где <math>\alpha_{\delta t}</math> - коэффициент линейной температурной деформации бетона в 1/град.С;  <math>E_a</math> - модуль упругости стеклопластиковой арматуры в кгс/см<sup>2</sup>;  <math>\Delta t</math> - разность между температурой прогреваемой конструкции и устройства, воспринимающего усилие натяжения, в град.С</p>
<p>3. Ползучесть и усадка бетона</p>	<p>Потери вычисляются умножением величины соответствующих потерь предварительного напряжения стальной арматуры, определенной с учетом вида бетона, технологии изготовления и условий эксплуатации на</p> $\frac{E_a}{2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2}$



1.12. Величина предварительного напряжения в стеклопластиковой арматуре вводится в расчет с коэффициентом точности натяжения арматуры

$$m_T = 1 \pm \Delta m_T, \quad (4)$$

где  $\Delta m_T$  принимается равным 0,1.

Знак "плюс" принимается при неблагоприятном влиянии предварительного напряжения, знак "минус" — при благоприятном.

При определении потерь предварительного напряжения арматуры, а также при расчете по деформациям, значения  $\Delta m_T$  допускается принимать равным нулю.

1.13. Величины напряжений в бетоне и стеклопластиковой арматуре, а также усилий предварительного обжатия бетона, вводимые в расчет предварительно напряженных конструкций, определяются в соответствии с указаниями СНиП П-21-75, а также с учетом физико-механических свойств стеклопластиковой арматуры.

1.14. Изменение температуры стеклопластбетонных конструкций вызывает изменение напряжений в бетоне и арматуре; при этом величина напряжений в арматуре определяется по формуле

$$\sigma_a = \sigma_0 + (\alpha_{st} - \alpha_{at}) \Delta t \cdot E_a, \quad (5)$$

где  $\alpha_{at}$  — коэффициент линейной температурной деформации арматуры в 1/град.С;

$\Delta t$  — разность между последующей и предыдущей температурой конструкции в град.С.

Соответствующее изменение напряжений в бетоне при обычных коэффициентах армирования в расчетах можно не учитывать.

1.15. Эксплуатация стеклопластбетонных конструкций при длительных воздействиях температуры выше 80°C допускается при специальном обосновании.

1.16. Предел огнестойкости изгибаемых стеклопластбетонных элементов на основе цементных бетонов, в зависимости от их конструкции, составляет от 15 до 20 мин, что дает основание для их применения в зданиях, относящихся к IУ степени огнестойкости.

## 2. Материалы для стеклопластбетонных конструкций

2.1. Основным видом арматуры для стеклопластбетонных конструкций является специально выпускаемая стеклопластиковая арматура периодического профиля, отвечающая требованиям соответствующих технических условий.

2.2. В качестве арматуры стеклопластбетонных конструкций допускается применять другие виды выпускаемых промышленностью высокопрочных стеклопластиков с однонаправленным расположением волокна и высоким его содержанием (до 80% по массе), а также стеклопластики, формируемые в процессе изготовления конструкции путем навивки стеклолента, пропитанного связующим. Такая арматура должна отвечать требованиям технических условий и может применяться для непрерывного армирования или в виде линейных замкнутых петлевых элементов с анкерами на концах.

2.3. Рабочая диаграмма растяжения стеклопластиковой арматуры практически прямолинейна вплоть до разрыва, а деформации на любом участке диаграммы могут быть вычислены по формуле

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a} \quad (6)$$

2.4. За нормативные сопротивления стеклопластиковой арматуры  $R_a$  принимаются наименьшие контролируемые значения временного сопротивления разрыву, которые назначаются в соответствии с техническими условиями на арматуру и гарантируются с обеспеченностью не менее 0,95.

Механические свойства стеклопластиковой арматуры периодического профиля диаметром 6 мм (СПА-6) по ТУ 7 БССР приведены в табл.2.

2.5. Расчетные сопротивления арматуры растяжению для предельных состояний первой и второй групп определяются по формуле

$$R_a = \frac{R_a^m}{K_a} \quad (7)$$

где  $K_a$  - коэффициент безопасности по арматуре, принимаемый для арматуры СПА-6 равным:



при расчете конструкций по предельным состояниям первой группы и  $\xi \geq \xi_A$  (см.п. 3.4 настоящих Рекомендаций) -1,30;  
 при расчете конструкций по предельным состояниям второй группы -1,0.

Таблица 2  
 Характеристики стеклопластиковой арматуры  
 периодического профиля - СПА-6 (ТУ 7 БССР)

Наименование характеристик	Единица измерения	Величина характеристик
1. Диаметр	мм	6
2. Шаг спиральной оплетки (периодического профиля)	мм	2
3. Браковочный минимум временного сопротивления (нормативное сопротивление)	кгс/см <sup>2</sup>	12500
4. Доверительная вероятность (обеспеченность) величины нормативного сопротивления	-	0,98
5. Начальный модуль упругости	кгс/см <sup>2</sup>	500000
6. Относительное удлинение перед разрывом	%	2,7
7. Объемная масса	т/м <sup>3</sup>	1,9



2.6. Расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний первой и второй группы снижаются путем умножения на соответствующие коэффициенты условий работы  $m_d$ , учитывающие возможность неполного использования прочностных характеристик арматуры в связи с продолжительным действием напряжений, неравномерным распределением напряжений в сечении, условиями анкеровки, изменением свойств арматуры в зависимости от условий работы конструкции и т.п.

Коэффициенты условий работы для арматуры СПА-6 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты условий работы стеклопластиковой арматуры периодического профиля - СПА-6 (ТУ 7 БССР)

Факторы, обуславливающие введение коэффициентов условий работы	Коэффициенты условий работы	
	Условное обозначение	Значения коэффициентов
I	2	3
1. Продолжительное приложение напряжения (см. примечание I)	$m_{ad}$	0,65
2. Зона передачи напряжений	$m_{a3}$	$l_x/25 \leq 1$ , где $l_x$ - расстояние от начала зоны передачи напряжений до рассматриваемого сечения в см
3. Воздействие повышенных температур	$m_{at}$	
а) кратковременное нагревание арматуры в сухом состоянии в процессе изготовления конструкции со		

Продолжение табл.3

I	2	3
скорость не более $2^{\circ}\text{C}$ в мин. до тем- пературы (см. при- мечание 2): $80^{\circ}\text{C}$ $100^{\circ}\text{C}$ $150^{\circ}\text{C}$ $200^{\circ}\text{C}$		0,95 0,90 0,85 0,80
б) длительное воздей- ствие температуры $80^{\circ}\text{C}$ более $20^{\circ}\text{C}$ и менее $80^{\circ}\text{C}$		0,9 По интерполяции
в) пропаривание в конст- рукциях на порглицце- менте не более 6 час при температуре пара: $60^{\circ}\text{C}$ $70^{\circ}\text{C}$ $80^{\circ}\text{C}$		0,90 0,85 0,80
4. Воздействие на конструкции при эксплуатации агрессив- ных сред: а) воды б) однонормального раство- ра $\text{H}_2\text{SO}_4$ (см. примечание 3) в) однонормального раст- вора $\text{NaOH}$ г) растворов солей	$m_{a.k}$	0,8 0,7 0,8 0,8

- Примечания: 1. Коэффициент  $m_{a.k}$  учитывается при расчете конструкций на действие всех основных сочетаний нагрузок, определяемых согласно СНиП П-6-74 "Нагрузки и воздействия".
2. Сопротивление растяжению стеклопластиковой арматуры, кратковременно нагретой в сухом состоянии до

температуры не выше 200°C, полностью восстанавливается после охлаждения.

3. Эксплуатация стеклопластиковой арматуры в конструкциях из полимербетона ФАМ с кислотным отвердителем во влажных условиях приравнивается к воздействию раствора кислоты.  
При действии на конструкции растворов кислот рекомендуется применять стеклопластиковую арматуру на основе стекловолокна 7тм и 7тк.

Расчет конструкций, изготавливаемых из других видов стеклопластиковой арматуры, а также эксплуатируемых в отличных от предусмотренных настоящими Рекомендациями условиях, следует производить с учетом соответствующих характеристик материалов, принимаемых по экспериментальным данным и согласуемых в установленном порядке, а полученные расчетом результаты рассматривать как ориентировочные.

2.7. Величины коэффициентов линейной температурной деформации стеклопластиковой арматуры  $\alpha_{dt}$  определяются составом волокна, из которого изготовлена арматура, и принимаются по табл.4.

Таблица 4  
Коэффициенты линейной температурной деформации  
стеклопластиковой арматуры

Химический состав волокна арматуры	Величина коэффициентов $\alpha_{dt} \cdot 10^5, 1/\text{град.С}$
Альмоборосиликатное стекло	0,58
Стекло № 7	0,84
Базальт	0,53

Примечание. Стеклопластиковая арматура СПА-6 (ТУ 7 БССР) изготавливается из стекловолокна альмоборосиликатного состава.

2.8. Стеклопластобетонные конструкции целесообразно изготавливать из различных видов спецбетонов, в которых наиболее эффективно используются специфические свойства стеклопластиковой арматуры (см. п.1.2 настоящих Рекомендаций), а также обеспечивается ее химическая стойкость при воздействии внешней среды, в том числе среды самого бетона. К таким спецбетонам относятся полимербетоны, в которых роль вяжущего выполняет поли-



мерное связующее, и бетонополимеры, изготавливаемые на основе цементных бетонов с последующей пропиткой конструкции мономерами. Расчетные характеристики этих бетонов для предельных состояний, при наличии данных о составе бетона, условиях изготовления и т.п., принимаются по специальным конструктивным материалам или экспериментальным данным.

2.9. Проектная марка бетона для изготовления стеклопластбетонных конструкций с самоанкеривающейся стеклопластиковой арматурой периодического профиля диаметров до 6 мм включительно должна назначаться в соответствии со СНиП П-21-75, но не ниже марки М250.

### 3. Расчет элементов стеклопластбетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента

3.1. Предельные усилия в сечении, нормальном к продольной оси элемента, определяются исходя из следующих условий:

сопротивление бетона растяжению принимается равным нулю;

сопротивление бетона сжатию представляется напряжениями, равными расчетному сопротивлению  $R_{пр}$ , равномерно распределенными по сжатой зоне бетона;

растягивающие напряжения в арматуре принимаются не более расчетного сопротивления растяжению  $R_a$ ;

напряжения в стеклопластиковой арматуре, имеющей сцепление с бетоном и расположенной в сжатой от внешних сил зоне  $\sigma_c$ , принимаются не менее величины предварительного напряжения  $\sigma'_a$ , уменьшенного на  $1000 \text{ кгс/см}^2$ .

3.2. Расчет сечений, нормальных к продольной оси 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 (см.п. 3.3 настоящих Рекомендаций), при котором предельное

состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой арматуре напряжения, равного расчетному сопротивлению  $R_a$ .

3.3. Величина  $\xi_R$  определяется по формуле

$$\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{R_a - \sigma_0}{K} \left(1 - \frac{\sigma_0}{R_a}\right)}, \quad (8)$$

где  $\xi_0$  - характеристика сжатой зоны бетона, определяемая по формуле (31) СНиП П-21-75

$$\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{np}; \quad (9)$$

$R_a$  - расчетное сопротивление арматуры растяжению в  $\text{кгс/см}^2$  с учетом соответствующих коэффициентов условий работы арматуры;

$\sigma_0$  - в  $\text{кгс/см}^2$ ;

$K$  - коэффициент, принимаемый равным 1000 для конструкций на основе тяжелого цементного бетона и 1400 для тяжелого полимербетона ФАМ.

3.4. При проектировании стеклопластбетонных элементов рекомендуется соблюдать условие  $X \geq \xi_R h_0$ , где  $\xi_R$  определяется для наиболее растянутого в предельном состоянии стержня продольной арматуры при  $m_T > 1$ .

С точки зрения полного использования сопротивления арматуры, оптимальным является сечение, для которого соблюдается условие  $X = \xi_R h_0$ .

Учитывая опасность хрупкого разрушения от разрыва арматуры, проектирование элементов, в которых  $X < \xi_R h_0$ , в каждом случае требует экспериментального обоснования, а их расчет должен производиться по специальным рекомендациям.

3.5. Расчет сечений изгибаемых и внецентренно-сжатых, имеющих гибкость  $l_0/h \leq 30$ , стеклопластбетонных элементов следует производить из условия (65) СНиП П-21-75 для общего случая

$$\bar{M} \leq R_{np} S_\sigma - \sum \sigma_{ai} S_{ai}, \quad (10)$$

где  $\bar{M}$  - в изгибаемых элементах - проекция момента внешних сил на плоскость, перпендикулярную прямой, ограничивающей сжатую зону сечения;



во внецентренно-сжатых элементах - момент продольной силы  $N$  относительно оси, параллельной прямой, ограничивающей сжатую зону, и проходящей через центр тяжести сечения наиболее растянутого стержня продольной арматуры;

$S_{\sigma}$  и  $S_{ai}$  - статические моменты площади сечения сжатой зоны бетона и  $i$ -го стержня продольной арматуры относительно оси, параллельной прямой, ограничивающей сжатую зону, и проходящей через центр тяжести сечения наиболее растянутого стержня продольной арматуры;

$\sigma_{ai}$  - напряжение в  $i$ -м стержне продольной арматуры.

Высота сжатой зоны  $X$  и напряжение  $\sigma_{ai}$  в кгс/см<sup>2</sup> определяются из совместного решения уравнений:

$$R_{np} F_{\sigma} - \sum \sigma_{ai} f_{ai} - N = 0 \quad (11)$$

и

$$\sigma_{ai} = \frac{K}{1 - \frac{\xi_e}{\xi_i}} \left( \frac{\xi_e}{\xi_i} - 1 \right) + \sigma_{ai} \cdot \quad (12)$$

При этом во всех случаях необходимо соблюдать условие

$$R_{ai} > \sigma_{ai} > \sigma_{ci}.$$

В формулах (11) и (12) :

$f_{ai}$  - площадь сечения  $i$ -го стержня продольной арматуры;

$\sigma_{oi}$  - предварительное напряжение в  $i$ -м стержне продольной арматуры, определяемое при коэффициенте  $m_T$ , принимаемом в зависимости от расположения стержня в соответствии с п.1.12 настоящих Рекомендаций;

$\xi_i$  - относительная высота сжатой зоны бетона, равная

$$\xi_i = \frac{X}{h_{oi}}, \quad (13)$$

здесь  $h_{oi}$  - расстояние от оси, проходящей через центр тяжести сечения  $i$ -го стержня арматуры и параллельной прямой, ограничивающей сжатую зону, до наиболее удаленной точки сжатой зоны сечения.

3.6. При расчете внецентренно-сжатых стеклопластбетонных элементов необходимо учитывать случайный начальный эксцент-



рицтет согласно указаниям СНиП П-21-75 для внецентренно-скатых железобетонных элементов, а также влияние на их несущую способность прогиба.

3.7. Влияние прогиба на несущую способность внецентренно-скатых элементов следует учитывать, как правило, путем расчета конструкций по деформированной схеме.

Допускается производить расчет конструкций на основе тяжелого цементного бетона по недеформированной схеме, учитывая при гибкости  $l_0/r > 14$  влияние прогиба элемента на его прочность путем умножения  $R_0$  на коэффициент  $\eta$ , определяемый по формуле (24) СНиП П-21-75

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{кр}}} \quad (14)$$

Условная критическая сила  $N_{кр}$  определяется по формуле

$$N_{кр} = \frac{0,55 E_c J}{l_0^2 K_{дл} \left( 0,07 + \frac{t}{K_N} \right)} \quad (15)$$

где  $l_0$  - расчетная длина элемента;

$J$  - момент инерции сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения и параллельной линии, ограничивающей скатую зону;

$t$  - коэффициент, принимаемый равным  $R_0/h$ , но не менее величины  $t_{мин.}$ , определяемой по формуле (27) СНиП П-21-75

$$t_{мин.} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,001 R_{пр}; \quad (16)$$

$K_{дл}$  - коэффициент, учитывающий влияние длительного действия нагрузки на прогиб элемента в предельном состоянии;

$K_N$  - коэффициент, учитывающий влияние предварительного напряжения арматуры на жесткость элемента в предельном состоянии.

Величина коэффициента  $K_{дл}$  определяется по формуле (26) СНиП П-21-75

$$K_{дл} = 1 + \beta \frac{M_1^{дл}}{M_1} \quad (17)$$

где  $\beta$  - коэффициент, принимаемый равным 1,0 для конструкций на основе тяжелого цементного бетона;

- $M_1$  - изгибающий момент относительно растянутой или менее сжатой грани сечения от совместного воздействия постоянных, длительных и кратковременных нагрузок;
- $M_1^{ал}$  - то же, от действия постоянных и длительных нагрузок.

При равномерном обжатии сечения напрягаемой стеклопластиковой арматурой  $K_n$  определяется по формуле

$$K_n = 1 + 45 \frac{\sigma_{сж}}{R_{спл}} \cdot \frac{e_0}{(5e_0 + h)}, \quad (18)$$

где  $\sigma_{сж}$  - напряжение обжатия бетона, определяемое при коэффициенте  $m_T < 1$ .

Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента

3.8. При расчете элементов на действие поперечной силы должно соблюдаться условие

$$Q \leq 0,3 R_{пр} \cdot b h_0, \quad (19)$$

при этом значение  $R_{пр}$  для бетонов проектных марок выше М400 принимается как для бетона марки М400.

3.9. Расчет на действие поперечной силы сечений, наклонных к продольной оси предварительно напряженных элементов на основе тяжелого цементного бетона, должен производиться из условия

$$Q \leq \frac{1,8 R_p \cdot b h_0^2}{c}, \quad (20)$$

в котором правая часть неравенства принимается не менее  $0,9 R_p b h_0$  и не более  $3 R_p b h_0$ ;

здесь  $Q$  - поперечная сила, действующая в наклонном сечении, т.е. равнодействующая всех поперечных сил от внешней нагрузки, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения;

$c$  - длина проекции наклонного сечения на продольную ось элемента.

3.10. Расчет сечений, наклонных к продольной оси предварительно напряженных элементов без поперечной арматуры, на



действие изгибающего момента должен производиться из условия

$$M \leq \sigma_a F_a Z \quad (21)$$

где  $M$  - момент всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения, относительно оси, проходящей через точку приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне и перпендикулярной плоскости действия момента;

$\sigma_a$  - напряжение в растянутой продольной стеклопластиковой арматуре, определяемое согласно п.п. 3.1 - 3.5 настоящих Рекомендаций в сечении, полученном проекцией наклонного сечения на плоскость, нормальную к продольной оси элемента, с учетом снижения  $R_a$  и  $\sigma_a$  в зоне передачи напряжений (см. табл. 3 настоящих Рекомендаций);

$Z$  - расстояние от продольной арматуры до указанной выше оси.

#### 4. Расчет элементов стеклопластбетонных конструкций по предельным состояниям второй группы

4.1. Расчет по образованию трещин, нормальных и наклонных к продольной оси элемента, должен производиться в соответствии с указаниями раздела 4 СНиП П-21-75, а также с учетом свойств стеклопластиковой арматуры, изложенных в разделах 1 и 2 настоящих Рекомендаций.

4.2. Учитывая 1-ю категорию трещиностойкости (см. п. 1.8 настоящих Рекомендаций), деформации стеклопластбетонных конструкций могут вычисляться в соответствии с указаниями п.п. 4.22 - 4.26 СНиП П-21-75 для элементов без трещин.



## Приложение

### Список литературы по исследованию и применению стеклопластбетонных конструкций

1. Вильдавский Ю.М. О ползучести и релаксации напряжений в стеклопластиковой арматуре. В сб. "Длительные деформативные процессы в бетонных и железобетонных конструкциях", М., Стройиздат, 1970.
2. Залого В.Ф. Исследование работы по наклонным сечениям изгибаемых бетонных элементов со стеклопластиковой арматурой. Кандидатская диссертация. Белорусский политехнический институт, Минск, 1976.
3. Михайлов К.В., Вильдавский Ю.М. Исследование особенностей работы изгибаемых элементов со стеклопластиковой арматурой. В сб. "Эффективные виды арматуры для железобетонных конструкций", М., Стройиздат, 1970.
4. Подмыстко И.В. Исследование устойчивости предварительно напряженных центрально и внецентренно сжатых бетонных элементов со стеклопластиковой и стальной арматурой. Кандидатская диссертация. Белорусский политехнический институт, Минск, 1969.
5. Пустовойтов В.П. Исследование свойств непрерывной стеклопластиковой арматуры и условий ее применения в бетонных конструкциях. Кандидатская диссертация. НИИЖБ, М., 1969.
6. Расчеты и применение конструкций из армополимербетонов в строительстве (Руководство). Гипроцветмет, М., 1975.
7. Симпозиум по стеклопластиковой арматуре (материалы симпозиума). ИС и А Госстроя БССР, Минск, 1974.
8. Старожицкий П.Я. Статический расчет некоторых видов висячих систем из стеклопластика как материала, обладающего свойствами упругости и ползучести. Кандидатская диссертация. ЛИСИ, Л., 1968.
9. Стеклопластбетонные конструкции. Труды ИС и А Госстроя БССР, Минск, 1972.
10. Стеклопластиковая арматура диаметром 6 мм - СПА-6. Технические условия ТУ 7 БССР. ИС и А Госстроя БССР, Минск, 1976.
11. Фролов Н.П., Жаврид С.С., Зеленский К.В. и др. Коррозионно-стойкие и электроизолирующие стеклопластбетонные конструкции. "Бетон и железобетон", 1975, № 12.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие .....	3
I. Общие положения .....	5
2. Материалы для стеклопластбетонных конструкций .....	10
3. Расчет элементов стеклопластбетонных конструкций по предельным состояниям первой группы .....	15
4. Расчет элементов стеклопластбетонных конструкций по предельным состояниям второй группы .....	20
Приложение. Список литературы по исследованию и применению стеклопластбетонных конструкций .....	21

НИИЖБ Госстроя СССР  
ИС и А Госстроя БССР

Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой  
арматурой

---

Отдел научно-технической информации НИИЖБ  
109389, Москва, Ж-389, 2-я Институтская ул., д. 6  
Редактор ОНТИ В.М. Рогинская

---

Д- 113978 Подписано к печати 7-278 Заказ 267  
Бумага 60x84 1/16 1,2 печ.л. Тираж 500 экз. Цена 12 коп.