ГОСПРОМАТОМНАДЗОР СССР

НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛОКАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

ПНАЭ Г-10-007-89

Москва 1991

gost.e-ecolog.ru

Государственный комитет СССР
по надзору за безопасным ведением работ
в промышленности и атомной энергетике
(Госпроматомнадзор СССР)

Научно-технический центр
по безопасности в атомной энергетике

УТВЕРЖДЕНЫ
Постановлением Госпроматом-
надзора СССР от 25.10.89 № 14

НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛОКАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

ПНАЭ Г-10-007-89

Дата введения 01.09.90

Москва - 1991

Исполнители: **В.И. Клящицкий, А.Е. Саркисян,**
С.Л. Белохин, В.Н. Халютина, М.Л. Клоницкий

Настоящие нормы распространяются на проектирование железобетонных сооружений локализующих систем безопасности (ЛСБ) атомных станций, предназначенных для удержания вышедших в процессе аварии за пределы реакторной установки радиоактивных веществ в предусмотренных проектом границах.

Нормы устанавливают расчетные и конструкционные требования к проектированию железобетонных конструкций защитных оболочек и герметичных помещений, изготовляемых из тяжелого бетона и имеющих герметизирующую облицовку. Настоящие нормы не распространяются на железобетонные защитные оболочки с внешним листовым армированием.

Настоящие нормы не регламентируют методы определения напряжений и деформаций рассчитываемых элементов. Метод расчета выбирается и обосновывается проектной организацией. Принятые в настоящих нормах основные буквенные обозначения приведены в справочном приложении 1, а специальные термины и определения — в справочном приложении 2.

При проектировании железобетонных конструкций ЛСБ необходимо руководствоваться также требованиями нормативных документов, перечень которых приведен в справочном приложении 3.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При проектировании железобетонных сооружений ЛСБ должны соблюдаться требования, содержащиеся в нормативных документах, регламентирующих правила устройства и эксплуа-

тации систем локализации атомных станций, а также дополнительные требования:

1) по сейсмостойкости *I* категории, согласно "Нормам проектирования сейсмостойких атомных станций: ПНАЭ Г-5-006-87";

2) по ответственности за радиационную и ядерную безопасность – *I* категории в соответствии с "Нормами строительного проектирования АС с реакторами различного типа: ПиН АЭ - 5.6";

3) по герметичности – уровень утечек из сооружения должен ограничиваться пределами, установленными техническим заданием на проектирование;

4) по условиям биологической защиты - определяются минимальные толщины стен, перекрытий и покрытий;

5) по долговечности – сооружения должны сохранять пригодность к выполнению своих функций в течение 40 лет.

2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛСБ

2.1. Бетон

2.1.1. Для железобетонных конструкций и предварительно напряженных железобетонных конструкций должен применяться тяжелый бетон средней плотности от более 2200 до 2500 кг/м^3 включительно по ГОСТ 25192-82 классом по прочности на сжатие не ниже В 15 и для предварительно напряженных конструкций – В 20.

Допускается применять в необходимых случаях специальные бетоны: особо тяжелый, гидротехнический, жаростойкий. Не допускается введение в бетон добавок, вызывающих коррозию арматуры, облицовки или бетона.

2.1.2. Нормативные и расчетные характеристики бетона, а также коэффициенты условий работы бетона для сооружений, работающих при систематическом воздействии температур не более 50°С, следует принимать по СНиП 2.03.01-84; от

50 до 200°С включительно — по СНиП 2.03.04-84; для сооружений, рассчитываемых на динамические воздействия, — по СНиП *II*-11-77*, а на сейсмические воздействия, — по СНиП *II*-7-81.

2.1.3. При расчете предварительно напряженных конструкций расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt} следует снижать (или повышать) путем умножения на коэффициенты условий работы бетона γ_{b1}, приведенные в СНиП 2.03.01-84, а также на дополнительные коэффициенты, учитывающие:

1) влияние двухосного напряженного состояния "сжатие сжатие" $\gamma_{bc} = 1{,}2$ · при определении расчетного сопротивления R_b;

2) влияние длительности действия нагрузок $\gamma_{b2} = 0{,}90$ — при определении расчетных сопротивлений R_b и R_{bt}.

2.1.4. Расчетное сопротивление бетона растяжению в швах бетонирования монолитных конструкций следует снижать путем умножения на коэффициент $\gamma_{b3} = 0{,}5$.

2.1.5. Марки бетона по морозостойкости и водонепроницаемости в зависимости от режима эксплуатации конструкций и значений расчетных зимних температур наружного воздуха в районе строительства должны приниматься как для конструкций и сооружений *I* класса по степени ответственности согласно СНиП 2.03.01-84.

2.1.6. Следует учитывать влияние излучения на изменение характеристик бетона по соответствующим справочникам. При интегральном потоке нейтронов, не превышающем $3 \cdot 10^{19}$ см$^{-2}$ за срок службы сооружения, допускается не учитывать влияние излучения.

2. 2. Арматура, облицовка, каналообразователи

2.2.1. Арматурную сталь следует выбирать в зависимости от типа конструкции, наличия предварительного напряжения, а также от условий эксплуатации сооружения в соответствии

с указаниями СНиП 2.03.01-84, СНиП 2.03.04-84 и требованиями, изложенными в настоящем разделе.

2.2.2. В качестве ненапрягаемой арматуры железобетонных конструкций следует преимущественно применять:

1) стержневую арматуру класса А-*III*;

2) стержневую арматуру класса А-*III* винтового профиля в комплекте с соединительными элементами (муфтами, гайками, контргайками).

2.2.3. В качестве напрягаемой арматуры предварительно напряженных железобетонных элементов следует преимущественно применять высокопрочную стабилизированную арматурную проволоку класса В-II (ТУ 14-4-1362-85), а также изделия из нее (пучки, канаты).

2.2.4. Нормативные и расчетные характеристики арматуры, а также коэффициенты условий работы для сооружений, работающих при систематическом воздействии температур не более 50°С, должны приниматься по СНиП 2.03.01-84; от 50 до 200°С включительно — по СНиП 2.03.04-84; для сооружений, рассчитываемых на динамические воздействия, — по СНиП *II*-11-77* и на сейсмические воздействия — по СНиП *II*-7-81.

2.2.5. Расчетное сопротивление растяжению высокопрочной проволоки, применяемой в виде канатов (пучков), определяется делением расчетного сопротивления растяжению каната (пучка) на площадь его сечения (нетто).

Расчетное сопротивление растяжению стального каната (пучка) следует принимать равным разрывному усилию каната (пучка) в целом, установленному государственными стандартами или техническими условиями на стальные канаты (пучки), деленному на коэффициент надежности $\gamma_m = 1{,}6$.

2.2.6. Для внутренней герметизирующей облицовки, а также обечаек проходок должны применяться стали в соответствии с "Правилами устройства и эксплуатации локализующих систем безопасности на атомных станциях"*. Расчетные сопро-

* До введения в действие "Правил устройства и эксплуатации локализующих систем безопасности на атомных станциях" применяемые марки сталей согласовываются с Госпроматомнадзором СССР.

тивления сталей следует принимать с учетом температурных воздействий и влияния излучения.

При расчете на прочность сечений с облицовкой, расположенной в растянутой зоне и закрепленной гибкими анкерами, следует применять коэффициент условия работы облицовки $\gamma_l = 0{,}85$, учитывающий податливость анкеров.

2.2.7. В качестве каналообразователей для предварительно напряженных железобетонных защитных оболочек следует преимущественно применять пластмассовые трубы или гибкие металлорукава.

2.2.8. Каналообразователи из пластмассовых труб должны обладать:

1) прочностью и жесткостью при восприятии всех нагрузок в процессе возведения и эксплуатации ЛСБ;

2) противокоррозионной стойкостью к заполнителям каналов и добавкам в бетоне;

3) долговечностью в течение всего расчетного срока службы сооружения.

2.2.9. Каналообразователи из пластмассовых труб должны быть несгораемыми или трудносгораемыми в соответствии с ГОСТ 12.1.044-84, в противном случае предусматривается их огнезащита.

2.2.10. Конструкционное исполнение каналообразователей и свойства материала, из которого они изготовлены, должны соответствовать принятой в проекте технологии стыкования, обеспечивающей образование в стыках герметичных соединений.

3. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

3.1. Классификация нагрузок и воздействий принимается в соответствии со СНиП 2.01.07-85, ПиН АЭ -- 5.6 и указаниями, изложенными в настоящем разделе.

3.2. Значения особых воздействий и нагрузок должны приниматься в соответствии с ПиН АЭ - 5.6.

3.3. Коэффициенты сочетаний нагрузок принимаются по СНиП 2.01.07-85.

3.4. Технологические нагрузки, их сочетания, значения и длительность следует принимать в соответствии с техническим заданием на проектирование.

Особые технологические нагрузки, соответствующие проектной аварии, должны задаваться в виде диаграмм, отражающих их изменение во времени, и с указанием ожидаемой вероятности возникновения.

3.5. Значение испытательного внутреннего давления следует принимать равным 1,15 расчетного давления.

3.6. Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f для постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, за исключением нагрузок от работающего технологического оборудования, следует принимать по СНиП 2.01.07-85.

Для нагрузок от работающего технологического оборудования коэффициент γ_f следует принимать в соответствии с техническим заданием на проектирование.

Для особых воздействий при отсутствии специальных указаний в техническом задании на проектирование следует принимать $\gamma_f = 1{,}0$.

3.7. При проектировании железобетонных сооружений ЛСБ должны учитываться три основные группы режимов нагружения - предпусковые, эксплуатационные и особые. Режимы нагружения и расчетные сочетания всех видов нагрузок и воздействий приведены в табл. 1.

В нее не включены сочетания нагрузок, возникающих при возведении сооружений, но которые следует учитывать при проектировании.

3.8. Наиболее неблагоприятное сочетание в особом режиме, включающем проектную аварию, определяется сопоставлением вариантов воздействия температуры и давления (разрежения) в течение аварии и послеаварийный период.

Таблица 1

Режимы	Нагрузки и воздействия											
			Технологические, соответствующие			Сейсмические		Климатические		Связанные с деятельностью человека		
	Предпусковые	Постоянные и длительные*	условиям нормальной эксплуатации	нарушению условий нормальной эксплуатации	проектной аварии	Проектное землетрясение	Максимальное расчетное землетрясение	Характерные	Экстремальные	Удар падающего самолета	Ударная воздушная волна
Предпусковые	+*[2]	+	—	—	—	—	—	+	—	—	—
Эксплуатационные:											
длительные	—	+	+	—	—	—	—	+	—	—	—
кратковременные	—	+	+	—	—	—	—	+	—	—	—
	—	+	—	+	—	—	—	+	—	—	—
	—	+	—	+	—	+	—	+	—	—	—
Особые	—	+	—	+	—	—	+	+	—	—	—
	—	+	—	+	—	—	—	—	+	—	—

Окончание табл. 1

Режимы	Нагрузки и воздействия											
			Технологические, соответствующие			Сейсмические		Климатические		Связанные с деятельностью человека	
	Предпусковые	Постоянные и длительные*	условиям нормальной эксплуатации	нарушению условий нормальной эксплуатации	проектной аварии	Проектное землетрясение	Максимальное расчетное землетрясение	Характерные	Экстремальные	Удар падающего самолета	Ударная воздушная волна
Особые	—	+	—	—	+	—	—	+	—	—	—
	—	+	+	—	—	—	—	+	—	+	—
	—	+	+	—	—	—	—	+	—	—	+
	—	+	—	—	+	+	—	+	—	—	—

* Нагрузки от массы строительных конструкций и стационарного оборудования и воздействия, обусловленные расчетными деформациями основания, изменением влажности, усадкой и ползучестью материалов.

*[2] Знак "+" означает, что нагрузка включается в соответствующее сочетание, знак "—" — не включается.

4. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. Общие требования

4.1.1. Железобетонные конструкции ЛСБ следует рассчитывать на основе положений СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных требований, изложенных в настоящем разделе и в соответствующих нормах:

1) для конструкций, работающих при систематическом воздействии температур от 50 до 200°С включительно, — в СНиП 2.03.04-84;

2) для конструкций, рассчитываемых на динамические воздействия, - в СНиП *II*-11-77*;

3) для конструкций, рассчитываемых на сейсмические воздействия, — в СНиП *II*-7-81 и ПНАЭ Г-5-006-87.

4.1.2. Усилия в сооружениях ЛСБ, являющихся статически неопределимыми конструкциями, определяют по правилам строительной механики с учетом действительной жесткости сечений и, как правило, с использованием ЭВМ.

При отсутствии разработанных методов определения действительного распределения усилий в сооружении, а также в целях упрощения допускается проводить расчет достаточно обоснованными приближенными методами.

4.1.3. Расчет на прочность должен проводиться при действии наиболее неблагоприятных сочетаний внутренних и внешних нагрузок, возникающих в особых режимах и при испытаниях внутренним давлением (см. табл. 1).

4.1.4. При расчете конструкций необходимо учитывать герметизирующую облицовку как нагрузку, особенно при температурных воздействиях в особых режимах.

4.1.5. Категории требований к трещиностойкости, а также значения предельно допускаемой ширины раскрытия трещин в условиях неагрессивной среды применительно к данным сооружениям в соответствии со СНиП 2.03.04-84 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Условия эксплуатации конструкции	Категория требований к трещиностойкости железобетонных конструкций и предельно допустимая ширина (мм) непродолжительного a_{crc1} и продолжительного a_{crc2} раскрытия трещин, обеспечивающая сохранность арматуры	
	Ненапрягаемая стержневая арматура и арматурная проволока	Напрягаемая стержневая арматура и высокопрочная арматурная проволока диаметром 3,5 мм и более
В закрытом помещении	3-я категория: $a_{crc1} = 0,4$; $a_{crc2} = 0,3$	3-я категория: $a_{crc1} = 0,3$; $a_{crc2} = 0,2$
На открытом воздухе, а также в грунте выше уровня грунтовых вод	3-я категория: $a_{crc1} = 0,4$; $a_{crc2} = 0,3$	3-я категория: $a_{crc1} = 0,2$; $a_{crc2} = 0,1$

Под непродолжительным раскрытием трещин понимается их раскрытие при действии нагрузок, входящих в состав предпусковых или кратковременных эксплуатационных режимов, а под продолжительным — раскрытие трещин при действии нагрузок, входящих в состав длительных эксплуатационных режимов.

4.1.6. В особых режимах ширина раскрытия трещин не ограничивается.

Примечание. Ограничение проницаемости конструкций должно обеспечиваться герметизирующей стальной облицовкой.

4.1.7. В особых режимах допускается образование и непродолжительное раскрытие сквозных трещин в бетоне при условии обеспечения их последующего — после снятия особых нагрузок — закрытия до значений, не превышающих предельные, установленные для продолжительного раскрытия, трещин (см. п. 4.1.5).

4.1.8. Расчет усилий в сооружениях ЛСБ должен проводиться с учетом напряженного состояния и деформаций оснований и плитных фундаментов, которые определяются соответственно по СНиП 2.02.01-83 и СНиП 2.03.01-84.

4.1.9. Расчет сечений по трещиностойкости и прочности в особых режимах, включающих аварии, допускается проводить только для трех расчетных случаев, при которых температура и давление среды внутри сооружений:

1) достигают максимальных значений;

2) начинают необратимо падать в результате действия активных систем снижения давления;

3) достигли значений, соответствующих минимальному давлению.

Температура внешней грани бетона принимается равной среднемесячной температуре (в январе) наружного воздуха или воздуха в прилегающих к оболочке помещениях.

4.1.10. Распределение температуры по сечению конструкций в эксплуатационных и особых режимах следует определять теплотехническим расчетом, учитывающим динамику теплообмена конструкций с внутренней и наружной средами.

4.1.11. Рекомендуемые методы расчета приводятся в приложениях 4 и 5.

4.2. Особенности расчета железобетонных конструкций защитных оболочек

4.2.1. При расчете усилий в оболочках, в которых отношение толщины к радиусу не превышает 1/8, рекомендуется использовать технические приложения теории тонких оболочек.

Примечание. При расчете зон приложения локальных нагрузок и утолщений следует учитывать объемное напряженное состояние бетона.

4.2.2. В предварительно напряженных оболочках усилия предварительного натяжения в напрягаемой арматуре следует назначать с учетом требований, изложенных в пп. 4.1.5 и 4.1.6.

4.2.3. При расчете сечений сферической и цилиндрической частей оболочки следует использовать различные расчетные

схемы для сечений в краевых зонах и для сечений, в которых влиянием краевых эффектов можно пренебречь.

В сечениях, в которых влиянием краевых эффектов можно пренебречь, все продольные усилия следует считать приложенными в центре тяжести приведенного сечения, в краевых зонах положение продольных усилий определяется конфигурацией сечения.

4.2.4. Жесткость кольцевых сечений оболочки с близко расположенными отверстиями каналообразователей, когда общая площадь их составляет не более 10% площади сечения бетона, может быть приближенно учтена путем использования приведенной площади сечения (с учетом площадей отверстий).

4.2.5. В цилиндрической и сферической частях предварительно напрягаемых оболочек, содержащих арматурные элементы, распределенные в бетонном массиве, следует проверять на прочность сечения, нормальные радиусу. Расчет должен проводиться для двух стадий обжатия оболочки:

1) напряжена только арматура ряда, ближайшего к внутренней поверхности оболочки;

2) напряжена вся напрягаемая арматура.

4.2.6. Радиальные растягивающие усилия в цилиндрической части оболочки, где влиянием краевых эффектов можно пренебречь, могут восприниматься бетоном или поперечной арматурой в зависимости от напряжений в бетоне.

Сопротивление растяжению поперечной арматуры следует принимать 0,8 R_s, бетона – 0,7 R_{bt}.

4.2.7. Радиальные растягивающие усилия в сферическом куполе оболочки должны полностью восприниматься поперечной арматурой.

4.3. Особенности расчета железобетонных конструкций герметичных помещений

4.3.1. В железобетонных конструкциях герметичных помещений усилия, вызываемые длительными температурными

воздействиями, следует определять с учетом последовательности замыкания узлов и их температуры.

4.3.2. Сборно-монолитные конструкции, а также монолитные конструкции с несущей арматурой, в том числе со стальной облицовкой, должны рассчитываться на прочность, образование и раскрытие трещин и на деформации для двух стадий работы в соответствии с указаниями раздела 1 СНиП 2.03.01-84.

При расчете трещиностойкости и деформаций конструкций в стадии после приобретения бетоном (монолитным), уложенным на месте использования конструкций, заданной прочности необходимо учитывать начальные напряжения и прогибы, возникшие в сборных элементах и несущей (в том числе листовой) арматуре, до приобретения бетоном, уложенным на месте использования конструкций, заданной прочности.

4.4. Особенности расчета герметизирующей стальной облицовки

4.4.1. В расчетную площадь сечения стальной облицовки рекомендуется включать площадь поперечного сечения анкеров из прокатных профилей соответствующего направления при условии сварки их концов между собой.

4.4.2. Совместность деформаций облицовки с бетоном при сжатии обеспечена, если соблюдается условие

$$\sigma_{l,1,2} \leqslant \sigma_{l,cr,1,2},$$

где $\sigma_{l,cr}$ — критические напряжения в облицовке, при которых возможна потеря устойчивости.

Критические напряжения следует определять в соответствии с указаниями СНиП II-23-81 по расчету на устойчивость центрально-сжатых элементов.

4.4.3. Потеря устойчивости облицовки во всех режимах, за исключением особого режима, включающего удар падающего самолета (см. табл. 1), как правило, не допускается.

Примечание. Допустимость потери устойчивости облицовки должна быть обоснована при условии сохранения ее плотности при расчетных параметрах.

4.4.4. При расчете облицовки на устойчивость следует:

1) исходить из возможности разрушения одного гибкого анкера;

2) не учитывать сцепление облицовки с бетоном.

4.4.5. Допускается не учитывать начальную кривизну облицовок при радиусе кривизны более 10 м.

4.4.6. При расчете на устойчивость облицовки с анкерами из прокатных профилей, привариваемых одной полкой к облицовке двумя параллельными швами, допускается расчетный шаг анкеров в направлении, нормальном к продольной оси прокатных профилей, уменьшить на ширину полок, обращенных внутрь расчетного пролета (рис. 1).

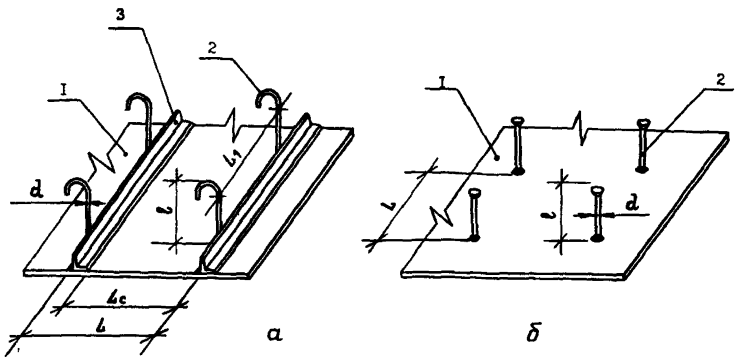

Рис. 1. Варианты анкеровки стальной облицовки (L_1, L — шаг анкеров; d — диаметр анкеров; l — длина анкеров; L_c — расчетный шаг анкеров из прокатных профилей, приваренных двумя параллельными швами): а — линейные анкера; б — точечные анкера; 1 — облицовка; 2 — анкера; 3 — уголок

4.4.7. Анкера герметизирующей стальной облицовки должны проверяться:

1) на срез и растяжение;

2) на сдвиг при смятии бетона;

3) на выдергивание - анкера без усилений;

4) на продавливание и смятие бетона при растяжении — анкера с усилениями (шайбами, пластинами, высаженными головками).

4.4.8. При расчете устойчивости облицовка считается жестко защемленной в местах анкеровки.

5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.1. Общие требования

5.1.1. При проектировании железобетонных конструкций надлежит выполнять конструктивные требования согласно указаниям раздела 5 СНиП 2.03.01-84, СНиП 2.03.04-84 и настоящего раздела.

5.1.2. В местах пересечений бетонных конструкций технологическими коммуникациями с повышенной температурой внутренней среды необходимо предусматривать тепловую изоляцию, ограничивающую длительный нагрев бетона температурой $90^{\circ}C$, кратковременный нагрев — температурой $200^{\circ}C$.

5.1.3. Передачу сосредоточенных нагрузок на стальную облицовку следует, как правило, предусматривать через элементы жесткости.

5.1.4. Участки облицовки, которые могут быть подвергнуты механическим воздействиям во время аварий, должны быть, как правило, защищены от повреждений экранами.

5.1.5. Совместная работа облицовки с бетоном должна обеспечиваться надежной анкеровкой. В качестве анкеров следует использовать стержни (точечные анкера) или прокатные профили (линейные анкера), см. рис.. 1. Шаг анкеров определяется расчетом, но при этом должны выполняться следующие требования:

1) расстояние в свету между точечными анкерами должно быть не менее $6d$, где d -- диаметр стержня анкера;

2) расстояние в свету между линейными анкерами должно быть не менее трехкратной высоты анкера;

3) в местах возможного приложения в облицовке сосредоточенных нагрузок следует устанавливать дополнительные анкера.

5.1.6. В зонах возможного образования сквозных трещин в бетоне точечные анкера должны иметь усиления на концах (в виде шайб, пластин, высаженных головок) или привариваться к стержням поперечной арматуры.

5.1.7. Для ограничения деформаций стальной облицовки стен в период строительства ее необходимо усиливать вертикальными ребрами жесткости преимущественно в виде уголков, которые одновременно служат анкерами против сдвига в период эксплуатации. Для предотвращения выдергивания вертикальных ребер жесткости из бетона необходима приварка к ним точечных анкеров (см. рис. 1,а).

5.1.8. Линейные анкера следует приваривать к облицовке прерывистым двусторонним швом.

5.2. Железобетонные конструкции защитных оболочек

5.2.1. В местах примыкания к оболочкам других конструкций следует предусматривать деформационные швы, ширина которых определяется с учетом горизонтальных перемещений оболочек и прилегающих конструкций в особых режимах.

Примечание. Допускается примыкание к оболочкам, выполненным без предварительного напряжения, других конструкций при соответствующем технико-экономическом обосновании.

5.2.2. Для пропуска в реакторное отделение через оболочку электротехнических и технологических коммуникаций, доставки оборудования и прохода обслуживающего персонала следует предусматривать проемы и отверстия, размеры которых определяются в соответствии с техническим заданием на проектирование.

В зонах действия краевых эффектов проемы и отверстия располагать не рекомендуется.

5.2.3. Отверстия располагают по возможности так, чтобы исключить их взаимное влияние:

1) в кольцевом направлении это расстояние должно быть в свету не менее одного наибольшего размера отверстия;

2) в меридиональном направлении — не менее удвоенного наибольшего размера отверстия.

5.2.4. Зоны оболочек и плит вокруг проемов и отверстий необходимо усиливать установкой дополнительной арматуры, площадь которой должна быть не менее площади вырезанной рабочей арматуры, установкой дополнительной конструктивной арматуры, устройством бетонных утолщений вокруг больших проемов ($D > \delta$) и установкой цилиндрических закладных деталей в малых отверстиях ($D \leqslant \delta$), где D — диаметр проема (отверстия), δ — толщина стенки оболочки (плиты).

5.2.5. Бетонные утолщения вокруг больших проемов и отверстий следует выполнять без резких изломов поверхности и принимать в пределах 0,5—0,8 толщины оболочки.

5.2.6. По всей площади утолщений у проемов и отверстий, размеры которых превышают толщину стенки оболочки, устанавливается конструкционная кольцевая, радиальная и поперечная арматура диаметром не менее 16 мм.

5.2.7. Вокруг малых отверстий устанавливается дополнительная арматура для анкеровки закладной детали.

5.2.8. Все закладные детали, обрамляющие проемы и отверстия, должны иметь фланцы, приваренные сплошным швом.

5.2.9. Верхнюю часть оболочек рекомендуется проектировать в виде пологого выпуклого сферического купола.

5.2.10. Концентрации напряжений, возникающие в различных зонах оболочки, рекомендуется уменьшать конструктивными мерами: плавным сопряжением поверхностей, изменением траекторий напрягаемой арматуры и т.п.

5.2.11. Диаметр площади сечения каналообразователя в свету должен не менее чем вдвое превышать диаметр площади сечения располагаемого в нем арматурного элемента.

5.2.12. Допускается касание каналообразователей разных направлений в местах их пересечений.

5.2.13. При проектировании для районов с сейсмичностью до 8 баллов включительно предварительно напряженных оболочек с напрягаемой арматурой, не имеющей сцепления с бетоном, следует предусматривать размещение напрягаемой арматуры таким образом, чтобы не допускать возникновения ее колебаний.

В зоне действия максимального изгибающего момента меридионального направления должно предусматриваться конструктивное армирование площадью не менее 0,3% площади сечения бетона в растянутой зоне и 0,1% — в сжатой зоне.

5.2.14. В предварительно напряженных оболочках для восприятия поперечных сил, а также усилий, которые могут привести к расслоению бетона в цилиндрической и сферической частях, в радиальном направлении следует предусматривать установку хомутов. Площадь сечения хомутов в цилиндрической части должна быть не менее 0,05% площади сечения бетона, в сферическом перекрытии — не менее 0,1%.

5.2.15. У внутренней и наружной поверхностей предварительно напряженной оболочки следует предусматривать установку конструктивной стержневой арматуры в кольцевом и меридиональном направлениях.

Шаг стержневой арматуры в обоих направлениях принимается не более 400 мм, а минимальная площадь сечения арматуры — не менее 0,1% площади сечения бетона у внешней поверхности и не менее 0,05% — у внутренней.

5.2.16. В местах анкеровки напрягаемой арматуры должно предусматриваться местное армирование в виде ряда сеток, расположенных нормально к оси анкера.

5.2.17. В местах резкого изменения кривизны каналов для пропуска напрягаемой арматуры следует устанавливать в качестве каналообразователей стальные закладные детали замкнутой кольцевой формы и плавного очертания в направлении изменения кривизны, а также усиливать бетон сетками или хомутами.

5.2.18. В предварительно напряженных оболочках без сцепления арматуры с бетоном должна предусматриваться антикоррозионная защита напрягаемой арматуры.

5.3. Железобетонные конструкции герметичных помещений

При конструировании узлов сопряжений стен, а также перекрытий необходимо обеспечивать надежную анкеровку рабочей арматуры с учетом труднодоступности этих узлов в условиях монтажа и бетонирования. Необходимая длина анкеровки должна обеспечиваться заведением стержней в сжатую зону сопрягаемого элемента и приваркой к выпускам арматуры анкерующих пластин (шайб, вспомогательных фермочек).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
(справочное)

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Усилия в поперечном сечении элемента

P — усилие предварительного обжатия;

M_t — изгибающий момент, вызываемый неравномерным нагревом бетона по высоте сечения;

N_γ - усилие, вызываемое массой вышележащих конструкций;

N — продольная растягивающая сила, вызываемая подъемом внутреннего давления внутри защитного сооружения;

N_l — продольное растягивающее усилие, передаваемое облицовкой на бетонную часть сечения оболочки;

N_{tot} -- равнодействующая всех продольных внешних сил.

Положение продольной арматуры в поперечном сечении элемента

S — обозначение продольной ненапрягаемой арматуры, расположенной у наиболее растянутой (наименее сжатой) грани сечения;

S' — обозначение продольной ненапрягаемой арматуры, расположенной у менее растянутой (наиболее сжатой) грани сечения;

S_p — обозначение продольной напрягаемой арматуры;

S_l — обозначение герметизирующей стальной облицовки.

Геометрические характеристики

a, a' — расстояния от центра тяжести арматуры соответственно S и S' до ближайшей грани сечения;

e_s, e_{sp} — расстояния от центра тяжести арматуры S до центра тяжести соответственно арматуры S' и S_p;

y_s, y'_s, y_{sp} — расстояния от центра тяжести приведенного сечения до центра тяжести соответственно арматуры S, S' и S_p;

e; e' — расстояния от точки приложения равнодействующих всех продольных внешних сил N_{tot} до равнодействующей соответственно в арматуре S и S';

y — расстояние от центра тяжести приведенного сечения до растянутой грани;

h — высота сечения;

h_o — рабочая высота сечения;

X — высота сжатой зоны бетона;

b — ширина сечения;

$e_{o,tot}$ — эксцентриситет силы N_{tot} относительно силы тяжести приведенного сечения;

A_s, A'_s, A_{sp} площади сечения арматуры соответственно S, S' и S_p;

A_l — площадь сечения стальной облицовки;

A_b — площадь сечения сжатой зоны бетона;

$A_{s,red}$, $A'_{s,red}$ — приведенная к бетону площадь сечения соответственно арматуры S, S' и S_p;

$A_{l,red}$ приведенная к бетону площадь сечения стальной облицовки;

$A_{red,x}$ - приведенная к бетону площадь сечения с трещиной;

ϵ_t — относительные деформации оси элемента;

ϵ_s, ϵ'_s, ϵ_{sp} - относительные деформации соответственно арматуры S, S' и S_p;

ϵ_l — относительные деформации стальной облицовки;

ϵ_b — средние относительные деформации сжатой зоны бетона.

Характеристики материалов

ν_l, ν_b — начальный коэффициент поперечной деформации соответственно стальной облицовки и бетона;

E_s;E'_s; E_{sp} — модуль упругости соответственно арматуры S, S' и S_p;

E_b — начальный модуль упругости бетона;

E_l — модуль упругости облицовки;

β_l — коэффициент, учитывающий снижение модуля упругости при повышенной температуре стальной облицовки;

β_b — коэффициент, учитывающий снижение начального модуля упругости сжатой зоны бетона при повышенной температуре;

α_{st} — коэффициент линейной температурной деформации арматуры S, S' и S_p;

α_{lt} — коэффициент линейной температурной деформации стальной облицовки;

α_{bt} — коэффициент линейной температурной деформации сжатой зоны бетона;

R_{st}, $R_{sp,t}$ - расчетное сопротивление растяжению соответственно арматуры S и S_p при воздействии температуры;

R_{yt} — расчетное сопротивление растяжению (сжатию) стальной облицовки при воздействии температуры;

$R_{b,tem}$ — расчетное сопротивление бетона сжатию при воздействии температуры;

$R_{sc,t}$ — расчетное сопротивление сжатию арматуры S' при воздействии температуры.

Начальные напряжения

σ_{sp} — предварительные напряжения в напрягаемой арматуре в момент их снижения в бетоне до нуля при воздействии на элемент внешних сил.

Температура

t_s, t'_s, t_{sp} — температура соответственно арматуры S, S' и S_p;

t_l — температура стальной облицовки;

t_{bc} — средняя температура бетона сжатой зоны;

γ_t — коэффициент надежности по температуре.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(справочное)

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Климатические нагрузки, характерные для площадки АС, — снеговые, ветровые, температурные — принимаются по СНиП 2.01.07-85.

Климатические экстремальные нагрузки — ветровые (ураганы), вызванные затоплением площадки АС, температурные — принимаются по ПиН АЭ-5.6.

Предпусковые режимы нагружения — расчетные сочетания нагрузок, которым подвергаются защитные сооружения на заключительном этапе строительства при подготовке к сдаче или при возобновлении эксплуатации (предварительное обжатие без учета вторых потерь преднапряжения, испытание внутренним давлением и т.д.), включая внешние воздействия, характерные для площадки АС.

Эксплуатационные режимы (длительные и кратковременные) — расчетные сочетания нагрузок, в состав которых включаются внутренние воздействия, предусмотренные техническим заданием для условий нормальной эксплуатации, а также внешние воздействия от характерных для площадки АС природных явлений.

Особые режимы — расчетные сочетания нагрузок, в состав которых включается одно из особых воздействий (нагрузок), остальные нагрузки принимаются: внешние — климатические характерные; внутренние — соответствующие нарушениям условий нормальной эксплуатации.

Краевая зона — зона цилиндрической или сферической части оболочки, при расчете сечений которой необходимо учитывать краевой эффект, т.е. действие (помимо продольных усилий) внешних изгибающих моментов.

Примечание. Температурный момент, вызываемый перепадом температур в рассматриваемом сечении, считается внутренним.

Точечный анкер — анкер из арматуры или гладкого прутка.

Линейный анкер — полосовой анкер из прокатного профиля.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(справочное)

ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, КОТОРЫЕ СЛЕДУЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛСБ

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: ОПБ 88.

2. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций: ПНАЭ Г-5-006-87.

3. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа: ПиН АЭ-5.6.

4. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84.

5. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур: СНиП 2.03.04-84.

6. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах: СНиП П-7-81*.

7. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85.

8. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений: СНиП 2.02.01-83.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(рекомендуемое)

МЕТОДЫ РАСЧЕТА СЕЧЕНИЙ

1. Общие требования

Стальная герметизирующая облицовка и бетон находятся в двухосном напряженном состоянии. Расчет ведется для каждой оси отдельно, влияние напряжений другого направления учитывается расчетным модулем упругости $\bar{E}$, зависящим от соотношения напряжений по главным осям. Предварительно предполагается равенство напряжений по обеим осям:

$$E_{\ell} = \frac{E_{\ell}}{1 - \nu_{\ell}}, \tag{1}$$

$$E_b = \frac{E_b}{1 - \nu_b}. \tag{2}$$

Затем в соответствии с определенными значениями напряжений корректируются значения $\bar{E}_l$ и $\bar{E}_b$ методом последовательных приближений, согласно указаниям п. 3.2 данного приложения.

2. Расчет на прочность сечений цилиндрической и сферической частей защитной оболочки, в которой влиянием краевых эффектов можно пренебречь

2.1. Расчет вертикальных и кольцевых сечений цилиндрической и сферической частей защитной оболочки проводится так же, как расчет сечений линейных полос единичной ширины, загруженных усилиями, действующими в плоскости оси симметрии полосы.

2.2. Продольное усилие, вызываемое предварительно напрягаемой арматурой и массой вышележащих конструкций P, рассматривается как внешнее усилие, приложенное на уровне центра тяжести приведенного сечения (без учета облицовки).

2.3. При составлении расчетной схемы усилий в сечении, нормальном к продольной оси, все продольные силы, действующие выше линии контакта облицовки с бетоном, считаются внешними, приложенными далеко от рассматриваемого сечения. Равнодействующую этих усилий N_l следует считать приложенной в центре тяжести приведенного сечения (без облицовки):

$$N_l = \frac{N A_{red,x} + (\epsilon_l - \epsilon_t)\bar{E}_b A_{l,red} A_{red,x} + (P + N_\gamma) A_{l,red}}{A_{red,x} + A_{l,red}}, \qquad (3)$$

где

$$A_{red,x} = A_{s,red} + A'_{s,red} + A_{sp,red} + A_b ; \qquad (4)$$

$$\epsilon_t = \frac{A_{s,red}\epsilon_s + A'_{s,red}\epsilon'_s + A_{sp,red}\epsilon_{sp} + A_b\epsilon_b}{A_{red,x}} ; \qquad (5)$$

$$A_{s,red} = \frac{A_s E_s}{\bar{E}_b \beta_b} ; \qquad (6)$$

$$A'_{s,red} = \frac{A'_s E'_s}{E_b \beta_b} ; \qquad (7)$$

$$A_{sp,red} = \frac{A_{sp} E_{sp}}{\bar{E}_b \beta_b} ; \qquad (8)$$

$$A_{\ell,red} = \frac{A_\ell \bar{E}_\ell \beta_\ell}{E_b \beta_b}; \qquad (9)$$

$$\epsilon_s = \alpha_{st} t_s; \qquad (10)$$

$$\epsilon'_s = \alpha_{st} t'_s; \qquad (11)$$

$$\epsilon_{sp} = \alpha_{st} t_{sp}; \qquad (12)$$

$$\epsilon_\ell = \alpha_{\ell t} t_\ell; \qquad (13)$$

$$\epsilon_b = \alpha_{bt} t_b. \qquad (14)$$

При этом должно соблюдаться условие

$$\left| N_\ell - N \right| \leqslant R_{yt} A_\ell. \qquad (15)$$

2.4. При расчете на прочность сечений с трещинами, нормальными к продольной оси, в особых режимах допускается изгибающий момент от неравномерного нагрева по высоте сечения бетона (без учета облицовки) определять независимо от высоты сжатой зоны как для сечений со сквозной трещиной.

2.5. Изгибающий момент от неравномерного нагрева по высоте сечения бетона со сквозной трещиной определяется по формуле ($\gamma_t = 1{,}1$):

$$M_t = (A_{s,red} Y_s \epsilon_s + A'_{s,red} Y'_s \epsilon'_s + A_{sp,red} Y_{sp} \epsilon_{sp}) \bar{E}_b \beta_b \gamma_t, \qquad (16)$$

где

$$Y_s = a - Y; \qquad (17)$$

$$Y_{sp} = e_{sp} + Y_s; \qquad (18)$$

$$Y'_s = h - Y - a'. \qquad (19)$$

2.6. Расчет на прочность внецентренно растянутых сечений с трещинами, нормальными к продольной оси, следует проводить в зависимости от положения равнодействующей всех продольных сил N_{tot}, которое определяется по величине ее эксцентриситета относительно центра тяжести приведенного сечения (рис. 2):

1) если продольная растягивающая сила N_{tot} приложена между равнодействующими усилий в арматуре S' и арматуре S и S_p, то расчет на прочность проводится из условия

$$N_{tot}(e_{o,tot} + Y'_s) \leq (R_{sp,t} - \sigma_{sp})(e'_s - e_{sp})A_{sp} + R_{st}A_s e'_s, \qquad (20)$$

где

$$e_{o,tot} = \frac{M_t}{N_{tot}}; \qquad (21)$$

$$N_{tot} = N_\ell - (P + N_\gamma); \qquad (22)$$

2) если продольная растягивающая сила N_{tot} приложена за пределами расстояния между равнодействующими усилий в арматуре S' и в арматуре S и S_p, то расчет на прочность проводится из условия

$$N_{tot}(e_{o,tot} + Y'_s) \leq (R_{sp,t} - \sigma_{sp})(e'_s - e_{sp})A_{sp} +$$

$$+ R_{st}A_s e'_s - R_{b,tem}bX(X/2 - a'). \qquad (23)$$

2.7. Высота сжатой зоны бетона X определяется по формуле

$$R_{st}A_s + (R_{sp,t} - \sigma_{sp})A_{sp} - R_{sc,t}A'_s - N_{tot} = R_{b,tem}bX. \qquad (24)$$

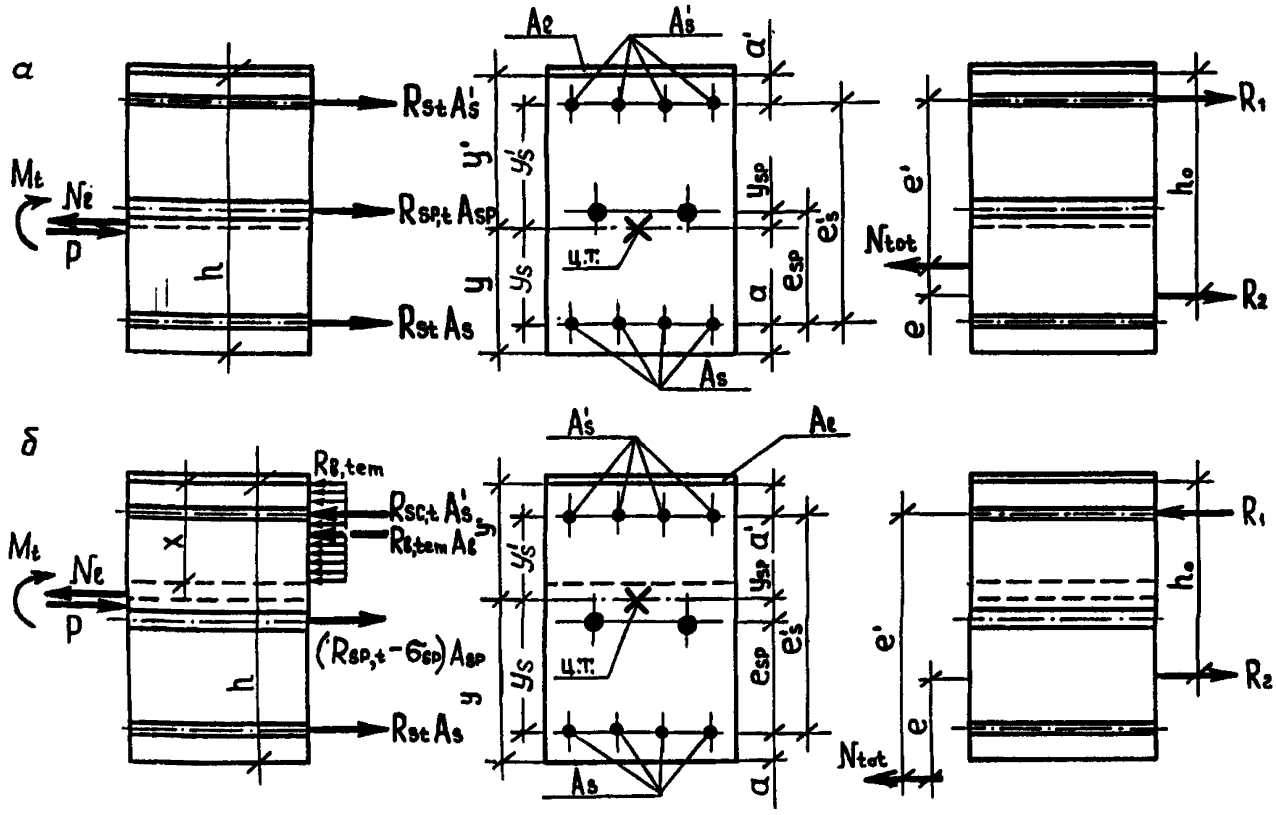

Рис. 2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно растянутого железобетонного элемента, при расчете его на прочность: а — продольная сила N_{tot} приложена между равнодействующими усилий в арматуре S', S_{sp}, S; б — то же за пределами расстояния между равнодействующими усилий в арматуре S', S_{sp}, S

3. Расчет герметизирующей стальной облицовки

3.1. Напряжения в стальной облицовке (расположенной в сжатой зоне сечений оболочки), в которых влиянием краевых эффектов можно пренебречь, и деформирующейся без потери устойчивости, определяются предварительно по формуле:

$$\sigma_{\ell} = \frac{N - N_{\ell}}{A_{\ell}} \pm \sigma_{ls} , \qquad (25)$$

где σ_{ls} -- мембранные и изгибные напряжения в облицовке от нагрузок строительного периода, не включенных в расчетные сочетания нагрузок (от усадки и ползучести бетона, гидростатического давления бетонной смеси и т.п.).

3.2. Окончательно напряжения в облицовке с учетом двухосного напряженного состояния определяются методом последовательных приближений соотношения $\frac{\bar{\sigma}_{\ell 1,2}}{\bar{\sigma}_{\ell 2,1}}$ по формуле:

$$\bar{\sigma}_{\ell 1,2} = \frac{\sigma_{\ell 1,2}(1 + \nu_{\ell}\bar{\sigma}_{\ell 2,1}/\bar{\sigma}_{\ell 1,2})}{1 + \nu_{\ell}} \leq R_{yt}\gamma_c\gamma_\nu\gamma_{\ell} , \qquad (26)$$

где $\sigma_{l,1,2}$ напряжения, действующие по главным площадкам в облицовке и определяемые по формуле (25); γ_c — коэффициент условий работы облицовки, учитывающий наличие конструктивных неоднородностей (принимается равным 0,9); γ_ν - коэффициент условий работы, учитывающий двухосное напряженное состояние:

$$\gamma_\nu = \frac{1}{\sqrt{1 - \eta + \eta^2}} ; \qquad (27)$$

$$\eta = \left| \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \right| ; \qquad (28)$$

γ_l - коэффициент, учитывающий податливость анкеров в растянутой зоне (см. п. 2.2.6).

Если при корректировке напряжений усилие в облицовке изменилось более чем на 5% суммы всех продольных растягивающих усилий в направлении, принятом при расчете железобетонного элемента на прочность, то следует проводить повторный расчет на прочность этого элемента, введя уточненный модуль упругости:

$$\tilde{E}_{\ell 1,2} = \frac{E_\ell}{1 - \nu_\ell \tilde{\sigma}_{\ell 1,2} / \tilde{\sigma}_{\ell 2,1}} , \qquad (29)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(рекомендуемое)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ПАДАЮЩЕГО САМОЛЕТА

1. Методика распространяется на расчет железобетонных конструкций защитных оболочек и плоских перекрытий (плит) герметичных помещений на воздействие падающего самолета и другие локальные квазистатические (с коэффициентом динамичности $\beta \leqslant 1{,}2$) и мгновенно приложенные (импульсные) нагрузки.

2. Нагрузка считается локальной, если

$$0{,}2\,L_{min} > D_F \geqslant \frac{1}{2}\,\delta , \qquad (30)$$

где L_{min} минимальный размер конструкций в плане; D_F — диаметр пятна приложения внешней нагрузки; δ — толщина конструкции.

3. Предельное состояние конструкций в зоне приложения локальных нагрузок характеризуется разрушением бетона в сжатой зоне, растянутая арматура при этом находится в стадии развития пластических деформаций. Допускается возникновение остаточных перемещений и наличие в бетоне растянутой зоны раскрытых трещин (состояние 1а — СНиП *II*-11-77*).

4. При воздействии на сооружение падающего самолета происходит разрушение конструкции по боковой поверхности эллиптического усеченного конуса, меньшим основанием которого служит площадь действия внешней нагрузки (рис. 3).

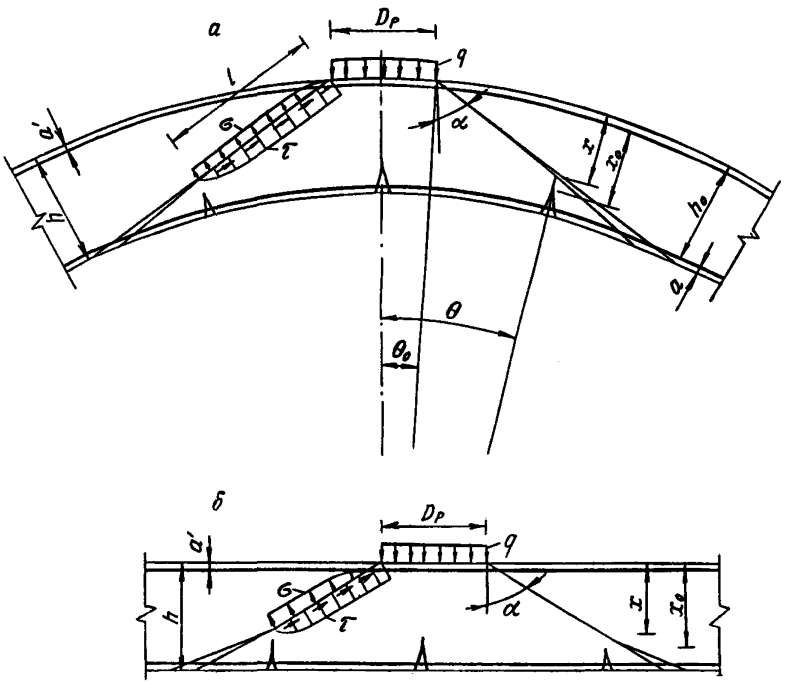

Рис. 3. Расчетная схема конструкции: а — для оболочек; б — для плит

Поверхность разрушения имеет три характерные зоны, определяемые видом сопротивления бетона: зона трехосного сжатия, зона растяжения со сдвигом и зона растяжения.

При этом предельное значение модуля вектора внешней нагрузки F допускается находить по формуле ($\alpha = 60^{o}$C):

$$F \leqslant (\sigma \sin\alpha + \tau \cos\alpha)A + F_{sw} , \qquad (31)$$

где σ, τ -- соответственно предельные средние значения нормальных и касательных напряжений, действующих на поверхности разрушения конструкции, определяемые по формулам:

$$\sigma = 0{,}75 R_{bd} ;$$

$$\tau = 0{,}75 \sqrt{R_{bd} R_{btd}} ; \qquad (32)$$

здесь R_{bd}, R_{btd} -- расчетные сопротивления бетона соответственно сжатию и растяжению при динамических воздействиях; A -- площадь поверхности разрушения конструкций:

для плит

$$A = \frac{\pi X}{\cos\alpha} (D_F + X \operatorname{tg}\alpha); \qquad (33)$$

для сферических оболочек постоянной кривизны

$$A = \pi \ell (D_F + \ell \sin\alpha); \qquad (34)$$

здесь l — геометрические характеристики поверхности разрушения (см. рис. 3):

$$\ell = (r + \frac{\delta}{2} - X) \frac{\sin(\Theta - \Theta_o)}{\sin(\alpha + \Theta_o)} ; \qquad (35)$$

$$\Theta_o = \arcsin\left(\frac{D_F}{2r + \delta}\right) ; \qquad (36)$$

$$\Theta = \frac{\pi}{2} - \alpha - \arccos\left[\sin(\alpha + \Theta_o)\frac{r + \frac{\delta}{2}}{r + \frac{\delta}{2} - X}\right]; \qquad (37)$$

здесь r — радиус кривизны оболочки;

F_{sw} — суммарное усилие от поперечной арматуры, пересекающей поверхность разрушения:

$$F_{sw} = 0{,}8 n A_{sw} R_{swd}; \qquad (38)$$

здесь R_{swd} — расчетное динамическое сопротивление поперечной арматуры динамическим воздействиям:

$$R_{swd} = R_{sw}\gamma_{sd}; \qquad (39)$$

A_{sw} — площадь поперечного сечения одного стержня поперечной арматуры;

n — количество стержней поперечной арматуры, пересекающей поверхность разрушения:

$$n = \frac{\pi h_o \operatorname{tg}\alpha}{S_{w1} S_{w2}}(D_F + h_o \operatorname{tg}\alpha); \qquad (40)$$

здесь S_{w1}, S_{w2} — шаг стержней поперечной арматуры в двух взаимно перпендикулярных осевых направлениях конструкции.

Относительная высота сечения над наклонной трещиной находится по выражению

$$\frac{X}{h_o} = 2L_1 \frac{X_o}{h_o}. \qquad (41)$$

Относительная высота сечения над нормальной трещиной в предельном состоянии определяется так:

$$\frac{X_o}{h_o} = \frac{0{,}5\bar{\alpha}\,\mu_s + L_1^2 - \left(\frac{\sigma_\beta}{R_{bd}}\mu_s - \bar{\alpha}\mu_{sc}\right)L_1}{0{,}5\,\bar{\alpha}\,\mu_s + L_1 - \left(\frac{\sigma_\beta}{R_{bd}}\mu_s - \bar{\alpha}\,\mu_{sc}\right)}, \qquad (42)$$

где $\bar{\alpha} = \frac{E_s}{E_b}$; (43)

$$L_1 = \frac{M}{0{,}8R_{bd}h_o^2} - \bar{\alpha}\mu_{sc}\left(1 - \frac{a'}{h_o}\right). \qquad (44)$$

Радиальный момент в нормальных сечениях, проходящих через вершины наклонной трещины в предельном состоянии работы конструкции, определяется следующим образом:

$$M = 3{,}0\left[\frac{1}{2}\left(\frac{z_o}{h_o}\right)h_o^2\left(1 - \frac{1}{3}\frac{z_o}{h_o}\right) + \bar{\alpha}h_o^2\left(1 - \frac{a'}{h_o}\right)\mu_{sc}\right]R_{bd}\ ; \qquad (45)$$

$$\frac{z_o}{h_o} = -\bar{\alpha}\left(\mu_s + \mu_{sc} - \frac{\sigma_\beta}{\bar{\alpha}\,R_{bd}}\mu_s\right) +$$

$$+\sqrt{\bar{\alpha}^2\left(\mu_s + \mu_{sc} - \frac{\sigma_\beta}{\bar{\alpha}\,R_{bd}}\mu_s\right)^2 + 2\bar{\alpha}\left(\mu_s - \frac{a}{h_o}\mu_{sc}\right)}\ ; \qquad (46)$$

где μ_s, μ'_{sc} – коэффициенты армирования для продольной арматуры, расположенной соответственно в растянутой и сжатой зонах; ν – коэффициент Пуассона материала конструкций;

$$\sigma_\beta = \bar{\alpha}(\sigma_{bp} + \sigma_\varphi)\,; \qquad (47)$$

здесь σ_{bp} – предварительное напряжение; σ_φ – напряжения в меридиональном и кольцевом направлениях, возникающие за счет кривизны конструкции:

для оболочек

$$\sigma_{\varphi} = \frac{F}{8h_o^2}\sqrt{3(1-\nu^2)}, \qquad (48)$$

для плит

$$\sigma_{\varphi} = 0.$$

При действии локальных нагрузок в виде прямоугольного импульса длительностью $t > 2\delta/a_2$ (δ — толщина конструкции, a_2 – скорость распространения продольных упругих волн в конструкциях) разрушение железобетонных плит и оболочек происходит по боковой поверхности усеченного цилиндра, верхним основанием которого служит площадь действия нагрузки.

Прочность конструкции в данном случае будет обеспечена при соблюдении условия

$$F \leqslant 0{,}735 D_F \delta R_{bd}. \qquad (49)$$

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 3
2. Материалы для железобетонных сооружений ЛСБ . . . 4
2.1. Бетон 4
2.2. Арматура, облицовка, каналообразователи 5
3. Нагрузки и воздействия 7
4. Основные расчетные положения 11
4.1. Общие требования 11
4.2. Особенности расчета железобетонных конструкций защитных оболочек 13
4.3. Особенности расчета железобетонных конструкций герметичных помещений 14
4.4. Особенности расчета герметизирующей стальной облицовки 15
5. Конструктивные требования 17
5.1. Общие требования 17
5.2. Железобетонные конструкции защитных оболочек 18
5.3. Железобетонные конструкции герметичных помещений 21
Приложение 1 (справочное). Основные буквенные обозначения 21
Приложение 2 (справочное). Специальные термины и определения 24
Приложение 3 (справочное). Перечень нормативных документов, которые следует использовать при проектировании железобетонных сооружений ЛСБ 26
Приложение 4 (рекомендуемое). Методы расчета сечений . . 27
Приложение 5 (рекомендуемое). Методика расчета на воздействие падающего самолета 33

Ответственный за выпуск Я.А. Шалина

Редактор А.А. Захарова
Корректоры: Г.С. Платонова, Е.М. Спиридонова

Подписано в печать 30.01.91. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 2000 экз.
Заказ № 442

Отпечатано в ЦНИИатоминформе
127434, Москва, а/я 971

gost.e-ecolog.ru