

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Исходные данные для выполнения курсового проекта и практических занятий	7
2. Порядок выполнения курсового проекта и требования к его оформлению	7
3. Выбор заполнителей для обеспечения требуемого содержания водорода в бетоне и плотности бетона	8
3.1. Выбор заполнителей для обеспечения требуемого содержания водорода	8
3.2. Выбор заполнителей для обеспечения требуемой плотности бетона	9
4. Выбор заполнителей для бетона радиационной защиты, исходя из допустимых радиационно-термических изменений бетона	11
4.1. Общие положения	11
4.2. Определение термических изменений и допустимых радиационных изменений бетонов радиационной защиты	12
4.3. Выбор заполнителей исходя из результатов оценки возможных радиационных изменений бетонов на этих заполнителях и их сравнение с допустимыми радиационными изменениями бетонов	13
5. Подбор состава бетона радиационной защиты	15
5.1. Подбор состава обычных бетонов и жаростойких бетонов без тонкомолотой добавки	15
5.2. Подбор состава жаростойких бетонов с тонкомолотой добавкой (при $T_m > 200$ °с)	19
6. Расчетная проверка радиационных и радиационно-термических изменений бетона на выбранном заполнителе и их сравнение с допустимыми изменениями	22
6.1. Общие положения	22
6.2. Расчеты радиационных изменений минералов, входящих в состав материала выбранного заполнителя	22
6.3. Расчеты радиационных изменений заполнителей бетонов	25
6.4. Расчеты радиационных изменений портландцементного камня без тонкомолотой добавки	30
6.5. Расчеты радиационных изменений портландцементного камня с тонкомолотой добавкой в составе бетона	31
6.6. Расчеты радиационных изменений раствора в составе бетона	32
6.7. Расчеты радиационных изменений бетона радиационной защиты	33
6.8. Расчеты радиационно-термических изменений бетона радиационной защиты и их сравнение с допустимыми изменениями	34
7. Заключение о возможности применения выбранного и запроектированного состава бетона в радиационной защите при заданных условиях и требованиях, а также о его технологическом составе и основных свойствах	36
Библиографический список	40
Приложения	41

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью зданий и сооружений атомной отрасли является наличие в них источников ионизирующих излучений. Это требует обеспечения радиационной защиты персонала и оборудования этих объектов, а также населения и окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений.

Наиболее часто радиационная защита выполняется в виде экранов плоской, цилиндрической, сферической формы, устраиваемых вокруг оборудования с источниками ионизирующих излучений. Эти экраны снижают уровни радиации до допустимых пределов и обычно являются самонесущими или несущими конструкциями.

Вследствие воздействия и ослабления ионизирующих излучений в материалах и конструкциях экранов радиационной защиты происходят следующие процессы [1, 2]:

- образование вторичных ионизирующих излучений;
- радиационный разогрев, вызывающий повышение температуры;
- образование наведенной радиоактивности;
- термические деформации и изменения свойств;
- радиационные деформации и изменения свойств;
- появление термических и радиационных напряжений.

В связи с этим в общем случае к материалам конструкций радиационной защиты предъявляются следующие требования:

1. Возможна более высокая плотность материала для улучшения защитных свойств от нейтронного и гамма-излучения.
2. Постоянство заданной плотности и однородность материала защиты для исключения прострелов излучений.
3. Определенное, технико-экономически обоснованное содержание водорода или других легких химических элементов для улучшения защитных свойств от нейтронного излучения.
4. Как можно меньшая интенсивность и энергия вторичного гамма-излучения, образующегося при замедлении и поглощении нейтронов.
5. Достаточная огнестойкость и жаростойкость.
6. Достаточная радиационная стойкость.
7. Минимальная наведенная радиоактивность, т.е. минимальное количество накапливающихся в материале защиты под воздействием излучений долгоживущих радиоизотопов.
8. Достаточная конструктивная прочность.
9. Относительно низкий модуль деформации для снижения напряжений, вызванных термическими и радиационными деформациями.
10. Возможно более высокий коэффициент теплопроводности для снижения температур и температурных напряжений.
11. Возможно меньшее температурное и радиационное расширения материала.
12. Меньшая теплота гидратации при твердении (для бетонов).
13. Минимальная усадка в процессе сооружения защиты и в последующий период.
14. Минимальная водопроницаемость и газопроницаемость.
15. Безопасность с точки зрения выделения вредных и взрывоопасных газов.
16. Химическая инертность, и прежде всего к теплоносителю.
17. Нейтральность в отношении коррозионного воздействия на металлы, особенно к стали арматуры.
18. Простота укладки и изготовления защиты, а также ее ремонта и при необходимости замены.
19. Экономичность.

Часть из этих требований обеспечивается за счет применения определенного круга материалов, часть из них не всегда являются самыми важными.

В связи с этим материалы экранов радиационной защиты, прежде всего, должны обладать:

- требуемой плотностью и особенностями химического состава для обеспечения необходимых защитных свойств и коэффициента теплопроводности;
- требуемым классом материала по прочности для обеспечения достаточной несущей способности под действием напряжений от различных механических нагрузок, а также от термических и радиационных деформаций;
- допустимыми деформациями и изменениями прочности под действием радиации и нагревания;
- требуемой подвижностью бетонной смеси для облегчения ее укладки и обеспечения однородности и плотности.

В основном радиационная защита выполняется из бетонов на портландцементе, поэтому требуемые защитные и механические свойства, радиационная и термическая стойкость могут быть обеспечены, прежде всего, путем выбора и проектирования бетонов, отвечающих предъявляемым к ним требованиям. В основном это осуществляется путем выбора заполнителей, добавок, марки портландцемента, водоцементного отношения и других характеристик его технологического состава. При этом наибольшую важность для обеспечения требуемой плотности, прочности, химического состава, радиационной стойкости и жаростойкости бетона, подвижности бетонной смеси имеет выбор заполнителей, цементов, расхода воды.

Целью курсового проекта и практических занятий является выбор и проектирование состава бетона для радиационной защиты ядерного реактора как наиболее мощного источника ионизирующих излучений, включая нейтронное, наиболее повреждающее материалы. Выбор и проектирование бетона осуществляются на основании исходных данных о радиационных нагрузках, условиях эксплуатации, требований к материалу, места строительства. В качестве вяжущего (цемента) принимается портландцемент, который в основном используется для бетонов радиационной защиты как наиболее изученный и распространенный цемент.

Учебно-методическое пособие составлено на основании работ [1–13].

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Исходными данными для выполнения курсового проекта и практических занятий являются:

- требуемое содержание водорода в бетоне радиационной защиты по табл. П4.1 Приложения 4;
- требуемая плотность бетона по табл. П4.2 Приложения 4;
- плотность потока повреждающих нейтронов (с энергией более 10 кэВ) по табл. П4.3 Приложения 4;
- номинальная T_M (при 100 % мощности реактора) и аварийная T_A температура бетона по табл. П4.4 и П4.5 Приложения 4;
- спектр нейтронов по табл. П4.6 Приложения 4;
- предельно допустимые изменения объема и прочности бетона по табл. П4.7 Приложения 4;
- варианты минерального состава, крупности зерен минералов, модуля упругости и пористости материалов заполнителей по таблицам П4.8 и П4.9 Приложения 4;
- район строительства по табл. П4.10 Приложения 4.

Кроме того задаются требуемый класс бетона по прочности на сжатие, подвижность бетонной смеси, модуль крупности песка.

В случае выбора и проектирования бетона для радиационной защиты оборудования, не испускающего нейтроны (из наиболее проникающего излучения воздействует только гамма-излучение), данные о плотности потока и спектре нейтронов не приводятся и не учитываются.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовой проект выполняется в следующей последовательности:

I. Проводится выбор заполнителей для обеспечения требуемого содержания водорода в бетоне и плотности бетона (этап I);

II. Проводится выбор заполнителей для бетона, исходя из допустимых радиационно-термических изменений материала (этап II);

III. Проводится подбор состава бетона защиты (этап III);

IV. Проводится расчетная проверка радиационных изменений и радиационно-термических изменений бетона на выбранном заполнителе и их сравнение с допустимыми изменениями (этап IV).

V. Делается заключение о возможности применения выбранного и запроектированного состава бетона при заданных условиях и требованиях. Приводятся его технологический и химический состав, основные физические и защитные свойства, данные о вычисленных радиационных и термических изменениях (этап V).

Курсовой проект оформляется на листах А-4, на которых приводятся цель курсового проекта, исходные данные, результаты расчетов и проектирования.

Рекомендуется следующая структура курсового проекта.

1. Цель курсового проекта.
2. Исходные данные.
3. Выбор заполнителей для обеспечения требуемого содержания водорода в бетоне и плотности бетона.
4. Выбор заполнителей для бетона радиационной защиты, исходя из допустимых радиационно-термических изменений материала.
5. Подбор состава бетона радиационной защиты.
6. Расчетная проверка радиационных изменений и радиационно-термических изменений бетона на выбранном заполнителе и их сравнение с допустимыми изменениями.
7. Заключение о возможности применения запроектированного состава бетона в радиационной защите при заданных условиях и требованиях, а также о его технологическом составе и основных свойствах.
8. Список использованных источников.

В случае выбора и проектирования бетона для радиационной защиты оборудования, не испускающего нейтроны, а являющегося источником только гамма-излучения, расчетная проверка радиационных изменений не проводится, так как радиационные изменения бетонов под действием гамма-излучения незначительны.

3. ВЫБОР ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В БЕТОНЕ И ПЛОТНОСТИ БЕТОНА

3.1. Выбор заполнителей для обеспечения требуемого содержания водорода

Некоторое содержание водорода обеспечивает химически связанная вода цементного камня, которую химически связывает цемент бетона.

Содержание водорода в бетоне, учитывая, что к началу эксплуатации цемент при твердении химически соединяет около 20 % воды от массы портландцемента, но вода выделяется при повышенных температурах эксплуатации, определяется по формуле:

$$H = 0,02ЦK_T, \quad (3.1)$$

где H — содержание водорода в бетоне за счет химически связанной воды портландцементного камня, кг/м³;

$Ц$ — расход портландцемента в бетонной смеси, кг/м³, который на стадии проектирования состава бетонов можно принять равным 300 кг/м³;

$0,02 = 0,1 \cdot 0,2$ — относительное содержание водорода в цементном камне бетона в эксплуатационный период при 20 °С, исходя из содержания химически связанной воды 20 %;

K_T — коэффициент снижения содержания химически связанной воды и водорода в цементном камне бетона за счет нагревания, зависящий от максимальной температуры эксплуатации T_M , равный:

$$\begin{aligned} K_T &= 1 \text{ — при } T_M < 100 \text{ °С}; K_T = 0,8 \text{ — при } T_M = 100 \text{ °С}; \\ K_T &= 0,7 \text{ — при } T_M = 150 \text{ °С}; K_T = 0,6 \text{ — при } T_M = 200 \text{ °С}; \\ K_T &= 0,45 \text{ — при } T_M = 300 \text{ °С}; K_T = 0,3 \text{ — при } T_M = 400 \text{ °С}; \\ K_T &= 0,15 \text{ — при } T_M = 500 \text{ °С}; K_T = 0 \text{ — при } T_M = 600 \text{ °С}. \end{aligned}$$

В случае если содержание водорода по формуле (3.1) ниже требуемого $H_{ТР}$, то для обеспечения требуемого содержания водорода в составе бетона в качестве заполнителей или части их заполнителей используются материалы, содержащие химически связанную воду (гидратные заполнители). При этом в качестве таких заполнителей можно использовать:

- серпентинит, содержащий около 1,3 % водорода — при температурах до 550 °С;
- брусит, содержащий 3 % водорода — при температурах до 300 °С.

В связи с этим, если для радиационной защиты требуется бетон с повышенным содержанием водорода, то перед выбором заполнителей по плотности необходимо определить требуемое содержание в бетоне гидратного заполнителя по формуле:

$$З_{Г.ТР} = 100(H_{ТР} - 0,02ЦK_T) / K_H, \quad (3.2)$$

где $H_{ТР}$ — требуемое содержание водорода в материале радиационной защиты при эксплуатации, кг/м³;

$З_{Г.ТР}$ — требуемое количество гидратного заполнителя в бетоне для обеспечения $H_{ТР}$ при температуре эксплуатации, кг/м³;

K_H — содержание водорода в гидратном заполнителе, принимаемое по табл. П1.1 Приложения 1, %;

Необходимое объемное содержание гидратного заполнителя в бетоне $V_{Г.ТР}$ при $З_{Г.ТР}$ составит:

$$V_{Г.ТР} = З_{Г.ТР} / \gamma_{Г.З} \quad (3.3)$$

где $\gamma_{Г.З}$ — плотность гидратного заполнителя, кг/м³.

В зависимости от $V_{Г.ТР}$ из гидратного заполнителя следует принимать:

- при $V_{Г.ТР} = 0,65 - 0,90$ — щебень и песок;
 - при $V_{Г.ТР} = 0,4 - 0,55$ — только щебень (песок можно принимать из не гидратного заполнителя);
 - при $V_{Г.ТР} = 0,25 - 0,35$ — только песок; (щебень можно принимать из не гидратного заполнителя).
- Если $З_{Г.ТР} \leq 0$, то использовать гидратный заполнитель не требуется.

3.2. Выбор заполнителей для обеспечения требуемой плотности бетона

Для обеспечения требуемой плотности бетона $\gamma_{\text{бет.тр}}$ для радиационной защиты при проектировании состава такого бетона, прежде всего, необходимо подобрать материалы заполнителей с требуемой плотностью.

При крупном заполнителе (далее — щебня) и песке из одного и того же материала определяется их требуемая плотность по формуле:

$$\gamma_{\text{зап.тр}} = [\gamma_{\text{бет.тр}} - \gamma_{\text{цк}}(1 - V_{\text{зап}})] / V_{\text{зап}}. \quad (3.4)$$

При применении щебня и песка, изготовленных из разных материалов, в случае, если предварительно принят материал щебня с плотностью $\gamma_{\text{щ}}$, определяется требуемая плотность песка $\gamma_{\text{п.тр}}$ по формуле:

$$\gamma_{\text{п.тр}} = [\gamma_{\text{бет.тр}} - \gamma_{\text{цк}}(1 - V_{\text{зап}}) - \gamma_{\text{щ}}V_{\text{щ}}] / V_{\text{п}}. \quad (3.5)$$

При применении щебня и песка, изготовленных из разных материалов, в случае, если предварительно принят материал песка с плотностью $\gamma_{\text{п}}$, определяется требуемая плотность щебня $\gamma_{\text{щ.тр}}$ по формуле:

$$\gamma_{\text{щ.тр}} = [\gamma_{\text{бет.тр}} - \gamma_{\text{цк}}(1 - V_{\text{зап}}) - \gamma_{\text{п}}V_{\text{п}}] / V_{\text{щ}}, \quad (3.6)$$

где $\gamma_{\text{бет.тр}}$ — требуемая плотность бетона;

$\gamma_{\text{зап.тр}}$ и $V_{\text{зап}}$ — требуемая плотность и относительное объемное содержание в бетоне заполнителя при применении щебня и песка, изготовленных из одного и того же материала;

$\gamma_{\text{щ.тр}}$, $\gamma_{\text{щ}}$ и $V_{\text{щ}}$ — требуемая плотность, принятая плотность и относительное объемное содержание в бетоне щебня при изготовлении песка и щебня из разных материалов;

$\gamma_{\text{п.тр}}$, $\gamma_{\text{п}}$ и $V_{\text{п}}$ — требуемая плотность, принятая плотность и относительное объемное содержание в бетоне песка при изготовлении песка и щебня из разных материалов;

$\gamma_{\text{цк}}$ — плотность цементного камня (в кг/м³), определяемая с учетом воздействия максимальной температуры нагревания по формуле:

$$\gamma_{\text{цк}} = 1800(0,8 + 0,2K_T), \quad (3.7)$$

где K_T — коэффициент снижения содержания химически связанной воды в цементном камне бетона за счет нагревания, зависящий от максимальной температуры эксплуатации T_M , значения которого приведены выше для формулы (3.1).

Для предварительных расчетов, если повышенное содержание водорода в материале не требуется, можно принимать, что крупный заполнитель и песок изготавливаются из одного и того же материала.

В случае если повышенное содержание водорода в материале требуется, то, выбрав гидратный заполнитель в качестве песка (или щебня), обеспечение требуемой плотности бетона следует осуществлять путем определения требуемой плотности щебня (или песка).

Кроме того с запасом можно принимать $V_{\text{зап}} = 0,70$; $V_{\text{щ}} = 0,4$ и $V_{\text{п}} = 0,3$.

Далее по требуемой плотности заполнителей по табл. П1.1 Приложения 1 подбираются материалы для заполнителей, которые могут использоваться для обеспечения требуемой плотности бетона исходя из условий, что их плотность будет больше или равна требуемой:

$$\gamma_{\text{зап}} \geq \gamma_{\text{зап.тр}}; \quad (3.8)$$

$$\gamma_{\text{щ}} \geq \gamma_{\text{щ.тр}}; \quad (3.9)$$

$$\gamma_{\text{п}} \geq \gamma_{\text{п.тр}}. \quad (3.10)$$

При выборе заполнителей необходимо учитывать, что при аварийной температуре защиты $T_A > 300$ °С необходимо применять жаростойкие бетоны, которые можно использовать при температурах более 300 °С в соответствии с табл. П1.1. При этом предпочтение следует отдавать материалам, добываемым и используемым в районе строительства или соседних районах. В случае их отсутствия в этих

районах следует применять материалы из отдаленных районов (обычно это железная и хромитовая руда, железорудные окатыши и концентрат, серпентиниты, бруситы) или искусственного происхождения (окалина, чугун, сталь).

При возможности щебень и песок лучше изготавливать из одного и того же материала и подбирать по формуле (3.4).

Если по формуле (3.4) не удастся подобрать единый материал для щебня и песка (если плотность наиболее близкого материала значительно превышает требуемую), то можно для крупного заполнителя и песка использовать разные материалы. При этом принять этот (наиболее близкий, но слишком большой плотностью) материал для щебня (или песка) и вычислить требуемую плотность материала для песка (или щебня) по формулам (3.5) и (3.6) и подбирать для них другой материал.

Если и в этом случае плотность наиболее близкого по плотности материала заполнителя превышает требуемую, но есть материалы с $\gamma_1 < \gamma_{п.тр}$ и $\gamma_2 \geq \gamma_{п.тр}$, то можно применить песок или щебень из смеси двух материалов с γ_1 и γ_2 с долей материала с γ_1 K_1 и долей материала с γ_2 $(1 - K_1)$ и определить K_1 по формуле:

$$K_1 = (\gamma_{п.тр} - \gamma_1) / (\gamma_2 - \gamma_1). \quad (3.11)$$

Вместе с тем такой прием следует использоваться в исключительных случаях, так как надежность обеспечения требуемых свойств и точность определения термических и радиационных изменений бетоном в таких случаях значительно снижается. Лучше предусмотреть более высокую плотность бетона при использовании песка из одного материала.

4. ВЫБОР ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЕТОНА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ, ИСХОДЯ ИЗ ДОПУСТИМЫХ РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ БЕТОНА

4.1. Общие положения

Выбор заполнителей для бетона радиационной защиты, исходя из допустимых радиационно-термических изменений материала защиты, производится на основании имеющихся справочных данных о границах возможных радиационных и термических изменений различных бетонов. При этом рассматриваются, прежде всего, местные и привозные материалы, выделенные на этапе I выполнения курсового проекта, которые могут использоваться исходя из обеспечения требуемой плотности и требуемого содержания водорода (если такие требования предъявляются, или материалы, заданные на практических занятиях).

При этом в случае если температура радиационной защиты при максимальной мощности $T_M > 200$ °С и аварийная температура радиационной защиты $T_A > 300$ °С, то в качестве заполнителей бетонов нельзя использовать граниты, гранодиориты, песчаники, кварциты, известняки, доломиты, магнезиты, сидериты. Если других заполнителей (которые можно использовать при этих температурах) в районе строительства нет, следует рассматривать материалы заполнителей из соседних районов.

Из изменений, которые наблюдаются у бетонов при воздействии температуры и ионизирующих излучений, наибольшую важность имеют изменение объема и прочности при сжатии.

При этом термические, радиационные и радиационно-термические изменения объема обычно рассматриваются как относительные (по отношению к объему до нагревания и облучения) изменения объема при нагревании и облучении (в %), обозначаемые и определяемые как:

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_B^T = \frac{\Delta V_B^T}{V_0} 100 \% \text{ — относительные термические изменения объема бетона, \%};$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_B^P = \frac{\Delta V_B^P}{V_0} 100 \% \text{ — относительные радиационные изменения объема бетона, \%};$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_B^{PT} = \frac{\Delta V_B^{PT}}{V_0} 100 \% \text{ — относительные радиационно-термические изменения объема бетона, \%},$$

где ΔV_B^T , ΔV_B^P и ΔV_B^{PT} — абсолютные термические, радиационные и радиационно-термические изменения объема бетона по сравнению с объемом до нагревания и облучения;

V_0 — объем бетона до воздействия нагревания и облучения.

Радиационно-термические изменения объема бетонов рассматриваются как сумма термических и радиационных изменений по формуле:

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_B^{PT} = \left(\frac{\Delta V}{V}\right)_B^T + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)_B^P. \quad (4.1)$$

Термические, радиационные и радиационно-термические изменения прочности (на сжатие) обычно рассматриваются как остаточные относительные значения прочности (по отношению к прочности до нагревания и облучения) (в долях единицы), обозначаемые и определяемые как:

$$\left(\frac{R}{R_0}\right)_{B,сж}^T = \frac{R_B^T}{R_{B0}} = \frac{R_{B0} + \Delta R_B^T}{R_{B0}} \text{ — относительная остаточная прочность бетона на сжатие после термического воздействия};$$

где R_{B0} — прочность бетона на сжатие до воздействия;

$$\left(\frac{R}{R_0}\right)_{B,сж}^P = \frac{R_B^P}{R_{B0}} = \frac{R_{B0} + \Delta R_B^P}{R_{B0}} \text{ — относительная остаточная прочность бетона на сжатие после радиационного воздействия};$$

где R_{B0} — прочность бетона на сжатие до воздействия;

$$\left(\frac{R}{R_0}\right)_{B,сж}^{PT} = \frac{R_B^{PT}}{R_{B0}} = \frac{R_{B0} + \Delta R_B^{PT}}{R_{B0}} \text{ — относительная остаточная прочность бетона на сжатие после радиационно-термического воздействия};$$

где R_{B0} — прочность бетона на сжатие до воздействия;

где ΔR_B^T , ΔR_B^P и ΔR_B^{PT} — абсолютное термическое, радиационное и радиационно-термические изменения прочности бетонов на сжатие по сравнению с прочностью до нагревания и облучения;

R_{B0} — прочность бетона на сжатие до нагревания и облучения;

R_B^T , R_B^P и R_B^{PT} — прочность на сжатие бетона после термического, радиационного и радиационно-термического воздействия.

Радиационно-термические изменения прочности бетонов в виде остаточной относительной прочности определяются как произведение термических и радиационных изменений в виде остаточной относительной прочности по формуле:

$$\left(\frac{R}{R_0}\right)_{Б.сж}^{PT} = \left(\frac{R}{R_0}\right)_{Б.сж}^T \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right)_{Б.сж}^P. \quad (4.2)$$

Вместе с тем иногда термические, радиационные и радиационно-термические изменения прочности рассматривается как относительные (по отношению к прочности до нагревания и облучения) изменения прочности при нагревании и облучении (в %), обозначаемые и определяемые как:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{Б.сж}^T = \frac{\Delta R_B^T}{R_0} 100 \% \text{ — относительные термические изменения прочности бетона на сжатие;}$$

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{Б.сж}^P = \frac{\Delta R_B^P}{R_0} 100 \% \text{ — относительные радиационные изменения прочности бетона на сжатие;}$$

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{Б.сж}^{PT} = \frac{\Delta R_B^{PT}}{R_0} 100 \% \text{ — относительные радиационно-термические изменения прочности бетона на сжатие.}$$

Радиационно-термические изменения прочности бетонов определяются как сумма термических и радиационных изменений по формуле

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{Б.сж}^{PT} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{Б.сж}^T + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{Б.сж}^P. \quad (4.3)$$

Изменения прочности в виде относительных изменений и остаточной относительной прочности связаны между собой следующим образом:

$$\frac{\Delta R}{R} = \left(\frac{R}{R_0} - 1\right) \cdot 100 \% \quad (4.4)$$

$$\frac{R}{R_0} = 1 + \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{100}. \quad (4.5)$$

4.2. Определение термических изменений и допустимых радиационных изменений бетонов радиационной защиты

Термические изменения определяются для бетонов на местных или из соседних районов заполнителях из выделенных на этапе выполнения курсового проекта, обеспечивающих требуемую плотность бетона радиационной защиты и требуемое содержание водорода в этом бетоне, но только для тех, которые можно использовать при заданных температурах эксплуатации или заданных на практических занятиях.

Термические изменения определяются по табл. П2.1 и П2.2 Приложения 2 по следующим значениям температур:

– по величине аварийной температуры T_A при кратковременном воздействии этой температуры, так как аварийная температура действует кратковременно. При этом по $T = T_A$ принимаются значения термических изменений, приведенные в табл. П2.1 и П2.2 над чертой;

– по величине номинальной (при 100 % мощности реактора) температуры T_M при длительном воздействии этой температуры, так как номинальная температура действует длительно. При этом по $T = T_M$ принимаются значения термических изменений, приведенные в табл. П2.1 и П2.2 под чертой.

В случае если щебень и песок заполнителей изготавливаются из разных материалов, один из которых является обычным минеральным материалом, то термические изменения следует определять по бетону на материале щебня, но при условии, что термические изменения бетона при выполнении

всех его заполнителей из материала песка не превышают термические изменения бетона при выполнении всех его заполнителей из материала щебня или превышают их не более, чем в 7 раз. Для этого по таблицам П2.1 и П2.2 необходимо определить и сравнить термические изменения бетонов на этих заполнителях. В случае если это условие не соблюдается, то материал песка меняется для соблюдения указанного выше условия.

Наличие тонкомолотых добавок (микронаполнителей) необходимо учитывать при $T_A > 300$ °С.

Значения, полученные по T_A и T_M , как правило, отличаются. Для дальнейшего учета за расчетные изменения следует принимать:

- наибольшее изменение (увеличение) объема при T_M и T_A ;
- наименьшую остаточную прочность при T_M и T_A .

Допустимые радиационные изменения объема $\left[\frac{\Delta V}{V} \right]_Б^P$ и прочности $\left[\frac{R}{R_0} \right]_{Б.сж}^P$ бетона радиационной защиты определяются по заданным предельно допустимым радиационно-термическим изменениям объема $\left[\frac{\Delta V}{V} \right]_Б^{PT}$ и прочности $\left[\frac{R}{R_0} \right]_{Б.сж}^{PT}$ бетона и найденным значениям термических изменений объема $\left(\frac{\Delta V}{V} \right)_Б^T$ и прочности $\left(\frac{R}{R_0} \right)_{Б.сж}^T$ бетонов по формулам:

$$\left[\frac{\Delta V}{V} \right]_Б^P = \left[\frac{\Delta V}{V} \right]_Б^{PT} - \left(\frac{\Delta V}{V} \right)_Б^T; \quad (4.6)$$

$$\left[\frac{R}{R_0} \right]_{Б.сж}^P = \left[\frac{R}{R_0} \right]_{Б.сж}^{PT} / \left(\frac{R}{R_0} \right)_{Б.сж}^T. \quad (4.7)$$

4.3. Выбор заполнителей исходя из результатов оценки возможных радиационных изменений бетонов на этих заполнителях и их сравнение с допустимыми радиационными изменениями бетонов

Для оценки возможных радиационных изменений бетонов на выбранных заполнителях и их сравнения с допустимыми радиационными изменениями бетонов сначала рассчитывается относительное число смещенных нейтронами атомов за весь период эксплуатации. Это необходимо для учета особенностей спектра нейтронов, так как скорость смещения атомов зависит не только от плотности потока нейтронов, но и их спектра.

Относительное число смещенных атомов $n_{см}$ рассчитывается по формуле:

$$n_{см} = K_{и} \varphi t \sum_{i=1}^n [\sigma_{см}(E_i) \Psi(E_i)], \quad (4.8)$$

где $n_{см}$ — относительное число смещенных при облучении атомов, как доля атомов, которые будут смещены при облучении, доли единицы;

$K_{и}$ — коэффициент использования мощности реактора за весь период его эксплуатации, обычно составляющий 0,7–0,9, так как реакторы работают на максимальной мощности не все время эксплуатации;

φ — плотность потока нейтронов с энергией более 10 кэВ при номинальной мощности реактора, нейтрон/(см² с);

t — продолжительность (время) эксплуатации ядерного реактора. Обычно 30–50 лет $\approx 1 \times 10^9 - 1,6 \times 10^9$ с;

$\sigma_{см}(E_i)$ — среднее сечение смещения атомов в минералах заполнителей бетонов для нейтронов i -той со средней энергией E_i , принимаемое по табл. 4.1, 10^{-24} см²;

$\Psi(E_i)$ — доля нейтронов i -той энергетической группы в спектре, принимаемая в курсовом проекте по табл. П4.6 для заданного варианта исходных данных.

Затем рассчитывается средняя за период работы реактора температура облучения $T_{ср}$, определяемая по формулам:

$$T_{\text{ср}} = K_{\text{и}} (T_{\text{М}} - 20) + 20 \text{ — в } ^\circ\text{С}; \quad (4.9)$$

$$T_{\text{ср}} = K_{\text{и}} (T_{\text{М}} - 20) + 20 + 273 \text{ — в } ^\circ\text{К}. \quad (4.10)$$

Далее по $n_{\text{см}}$ и $T_{\text{ср}}$ (в $^\circ\text{С}$) по табл. ПЗ.1 Приложения 3 определяются границы возможных радиационных изменений бетонов на выделенных заполнителях.

Так как в общем случае значения $n_{\text{см}}$ и $T_{\text{ср}}$ могут не совпадать со значениями в таблице, для определения радиационных изменений с помощью интерполяции следует выделять границы возможных радиационных изменений для $n_{\text{см}}$ и $T_{\text{ср}}$ меньших и больших рассматриваемых.

Таблица 4.1

**Усредненные среднегрупповые сечения образования смещенных атомов
в основных минералах заполнителей бетонов и керамики**

№ группы нейтронов	Энергетический интервал нейтронов	Среднегрупповые сечения $\sigma_{\text{см}}(E_i)$ образования смещенных атомов, 10^{-24} см^2
1	6,5–10,5 МэВ	2255
2	4–6,5 МэВ	2430
3	2,6–4 МэВ	2835
4	1,4–2,6 МэВ	2288
5	0,8–1,4 МэВ	3065
6	0,4–0,8 МэВ	2550
7	0,2–0,4 МэВ	1460
8	0,1–0,2 МэВ	710
9	46,0–100 кэВ	450
10	21,6–46,5 кэВ	295
11	10–21,5 кэВ	70
12	2,15–46,5 кэВ	33
13	0,466–2,15 кэВ	7,2
14	100–465 эВ	1,0
15	21,5–100 эВ	0
16	2,15–21,5 эВ	0
17	0,215–2,16 эВ	0
18	тепловые	2,4

В случае если предварительно выделены несколько различных заполнителей и бетоны на них входят в одну группу по термической и радиационной стойкости, то рассмотренные расчеты для них могут быть проведены как для одного вида заполнителей. Если же они входят в разные группы по термической и радиационной стойкости, то рассмотренные расчеты для них (кроме расчетов $n_{\text{см}}$ и $T_{\text{ср}}$) должны быть проведены для каждого из заполнителей.

В этих случаях окончательный выбор заполнителя делается исходя из влияния минерального состава и структуры, описанного в примечании к табл. ПЗ.1 и особенностях заполнителей по заданному варианту минеральному составу и крупности зерен их минералов по табл. П4.8 и П4.9. В частности, предпочтение следует отдавать заполнителям:

- с минимальным содержанием калиевых полевых шпатов (микроклин, ортоклаз), кварца, пироксенов (авгит, диопсид, энстатит), роговой обманки, с максимальным содержанием плагиоклазов и стекла у заполнителей бетонов групп 1 и 2;

- с минимальным содержанием плагиоклазов и кварца и максимальным содержанием оливина и стекла (группы 3 и 4);

- с минимальным содержанием пироксенов и максимальным содержанием серпентина (группа 5);

- с минимальным содержанием доломита (группа 6);

- с минимальным содержанием нерудных минералов (группы 7 и 8);

- во всех случаях с более мелкозернистой структурой.

5. ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

5.1. Подбор состава обычных бетонов и жаростойких бетонов без тонкомолотой добавки

Подбор состава обычных бетонов (при $T_A \leq 300$ °С и/или $T_M \leq 200$ °С) и жаростойких бетонов без тонкомолотой добавкой (при $T_M \leq 300$ °С) в соответствии с [3–7] осуществляется в следующей последовательности.

А. Определяется водоцементное отношение В/Ц, необходимое для получения бетона требуемой прочности, исходя из принятой марки цемента и качества заполнителей.

При этом в соответствии с заданной маркой бетона по табл. 5.1 сначала принимается марка цемента.

Таблица 5.1

Соответствие марок цемента классам и маркам бетона

Марка бетона	M150	M 200	M250	M300	M350	M 400	M450	M 500	M 600
Класс бетона	B10	B15	B20	B22,5	B25	B30	B35	B40	B45
Марка цемента по ГОСТ 10178-76	M 300	M300 M 400	M300- M 400	M400- M500	M400- M500	M500- M600	M500- M600	M500- M600	M600
Класс цемента по ГОСТ 31108-2003	22,5	22,5–32,5	22,5–32,5	32,5–42,5	32,5–42,5	52,5	52,5	52,5	52,5

Далее определяется требуемое значение В/Ц по формулам:

$$B/C = \frac{AR_u}{R_b + 0,5AR_u} - \text{при } B/C \geq 0,4; \quad (5.1)$$

$$B/C = \frac{AR_u}{R_b - 0,5A_1R_u} - \text{при } B/C < 0,4, \quad (5.2)$$

где R_b — прочность бетона на сжатие, принимаемая равной марке бетона при сжатии M в кг/см², определяемая по заданному классу B в МПа, исходя из соотношения $M = B/0,08$ при использовании в расчетах показателя прочности цемента по марке, принимаемая равной заданному классу бетона при сжатии при использовании в расчетах показателя прочности цемента по классу;

R_u — активность цемента, принимаемая равной марке цемента при сжатии M в кг/см² при подборе состава по марке при сжатии или классу цемента при сжатии $B = M/0,08$ в МПа при подборе состава бетона по классу при сжатии;

A и A_1 — коэффициенты качества заполнителей, представленные в данном случае в табл. П1.1 Приложения 1.

В качестве цемента для бетона радиационной защиты принимается портландцемент и его разновидности.

Б. Определяется расход воды V (в кг/м³) в зависимости от заданной требуемой подвижности бетонной смеси, степени окатанности и крупности зерен заполнителей, нормальной густоты и модуля крупности песка.

Расход воды определяется по табл. 5.2 на основании требуемой осадки конуса ОК (в см) или требуемого показателя жесткости Ж (в с), в зависимости от того, гравий или щебень и какой наибольшей крупности используется. В таблице приведены значения расхода воды при использовании цемента с нормальной густотой 26–28 % и песка с модулем крупности $M_{кр}^n = 2$.

В курсовом проекте нормальная густота портландцементного теста принимается равной 26–28 %, как у большинства цементов. В качестве крупного заполнителя принимается щебень крупности 40 мм и менее

При модуле крупности песка больше и меньше $M_{кр}^n = 2$ количество воды корректируется:

- увеличивается на 3–5 кг/м³ при уменьшении $M_{кр}^n$ на каждые 0,5;
- уменьшается на 3–5 кг/м³ при увеличении $M_{кр}^n$ на каждые 0,5.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru