

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. ПРИЧАЛЬНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	6
2. СВОЙСТВА БЕТОНОВ, АРМАТУРЫ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА	7
2.1. Гидротехнические бетоны и требования к ним	7
2.2. Структура бетона и его показатели качества.....	7
2.3. Свойства бетона и его деформации	9
2.4. Свойства арматуры.....	10
2.5. Свойства железобетона.....	12
2.6. Коррозия железобетона и меры защиты от неё.....	13
3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЁТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ.....	15
3.1. Пределные состояния железобетонных конструкций	15
3.2. Классификация нагрузок. Нормативные и расчётные нагрузки	15
3.3. Сочетания нагрузок. Степень ответственности сооружений	16
4. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	17
4.1. Три стадии напряжённо-деформированного состояния.....	17
4.2. Понятие о граничной высоте сжатой зоны.....	18
4.3. Расчёт изгибаемых элементов прямоугольного профиля по нормальным сечениям с одиночной арматурой.....	19
4.4. Расчёт изгибаемых элементов прямоугольного профиля по нормальным сечениям с двойной арматурой.....	21
5. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	26
5.1. Компоновка и конструктивное решение причального сооружения.....	26
5.2. Расчёт монолитной массивной бетонной подпорной стенки причала	26
5.3. Расчёт и конструирование железобетонной плиты перекрытия причала	34
5.4. Расчёт и конструирование железобетонного ригеля причала	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	58
Библиографический список.....	59
ПРИЛОЖЕНИЯ	60

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебно-методическом пособии представлены материалы по основным положениям проектирования бетонных и железобетонных конструкций причальных сооружений, расчёты, схемы чертежей, необходимые при проектировании.

Проектировать железобетонные конструкции гидротехнических сооружений сложнее, чем конструкции промышленных и гражданских зданий, поскольку необходимо учитывать влияние на работу железобетонных конструкций таких факторов как агрессивность водной среды, циклическое знакопеременное изменение температуры, зональное расположение элементов по высоте сооружения, истирающее действие льда и т. п. При проектировании железобетонных конструкций гидротехнических сооружений возникают также сложности, связанные с необходимостью одновременного учёта требований СП 63.13330.2012 и СП 41.13330.2012 [1, 2].

Пособие составлено в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Железобетонные конструкции зданий и сооружений» по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Строительство инженерных, энергетических, гидротехнических и природоохранных сооружений». При составлении учебно-методического пособия учтены компетенции, которые должен освоить обучающийся в соответствии с ФГОС.

Пособие структурировано по темам практических занятий и самостоятельной работы обучающихся.

Для получения студентом навыков проектирования железобетонных конструкций причальных сооружений в учебно-методическом пособии представлены следующие разделы практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Железобетонные конструкции зданий и сооружений»: свойства бетонов, арматуры и требования к ним; основные свойства железобетона; основные положения метода расчёта по предельным состояниям; понятие о граничной высоте сжатой зоны бетона; конструирование и расчёт изгибаемых элементов, конструирование и расчёт плит, ригелей и подпорных стенок; принципы проектирования железобетонных конструкций промышленных и гидротехнических сооружений.

В качестве примера подробно рассматривается свайное причальное сооружение с четырёхрядным расположением свай. Все конструкции причального сооружения выполнены из сборного и сборно-монолитного железобетона. Пролётное строение — сборное ребристое с плитами сплошного сечения и ригелями таврового профиля. Соединение ригелей со сваями — с помощью монолитных оголовков. При проектировании конструкций причала рассмотрены вопросы о назначении сооружения; выборе конструктивной его схемы; нагрузках, действующих на его элементы; выборе материалов; расчёт по первой и второй группам предельных состояний с учётом требований СП 63.13330.2012 и СП 41.13330.2012 [1, 2].

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Строительство инженерных, энергетических, гидротехнических и природоохранных сооружений».

1. ПРИЧАЛЬНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

По своему функциональному назначению гидротехнические причальные сооружения подразделяются на оградительные; предназначенные для защиты акватории портов; причальные; обеспечивающие стоянку судов; судоподъёмные; морские берегозащитные; морские судоходные каналы; устройства, обеспечивающие безопасность судоходства; специальные виды морских сооружений (например, нефтепромысловые сооружения) [3, 8, 9].

Причальные сооружения обеспечивают безопасность судов при стоянке у рейдовых или береговых причальных комплексов и возможность выполнения перегрузочных и пассажирских операций. Различают три типа причальных сооружений: набережные стенки — сооружения, на всем своём протяжении примыкающие к берегу; пирсы — сооружения, выступающие в сторону акватории и своим корневым участком непосредственно связанные с берегом; рейдовые причалы, расположенные во внутренних и внешних зонах «портовых вод» и непосредственно не имеющие связи с берегом или связанные с ним с помощью специальных переходных сооружений [9].

По конструктивному признаку причалы могут быть в виде сооружений 1) гравитационного типа; 2) тонких стенок (больверк); 3) с высоким свайным ростверком. Гравитационными называются сооружения, устойчивость которых на сдвиг и опрокидывание обеспечивается собственной массой самого сооружения и массой грунта засыпки, приходящегося на элементы конструкции. Больверки образованы сплошным шпунтовым рядом и работают на устойчивость за счёт защемления шпунта в грунте и анкерных устройств. Сооружения с высоким свайным ростверком состоят из свайного основания (продольных и поперечных рядов свай) и верхнего строения (ростверка) из железобетонных элементов. Их устойчивость обеспечивается за счёт защемления свай в грунте [7].

Широкое применение при строительстве гидротехнических сооружений нашли железобетонные конструкции. Это связано с их способностью воспринимать различные виды статических и динамических нагрузок, долговечностью, возможностью придавать им рациональную геометрическую форму.

Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений отличаются от железобетонных конструкций промышленных и гражданских зданий специфическими особенностями. К ним относятся работа в водной среде, массивность, относительно малое содержание арматуры, большее влияние температурных и других специальных видов воздействий. Эти особенности учитываются при проектировании, расчёте и строительстве гидротехнических сооружений и отражены в соответствующих нормах проектирования [3, 6].

По способу возведения железобетонные конструкции делятся на сборные, монолитные и сборно-монолитные. Сборные конструкции изготавливаются на заводах стройиндустрии, а затем монтируются на строительных площадках. Монолитные конструкции возводятся непосредственно на строительной площадке. Сборно-монолитные конструкции состоят из готовых железобетонных элементов, которые могут быть из сборного и монолитного железобетона (часто сборные элементы выполняют роль и опалубки).

Причальные сооружения в большинстве случаев монтируют из сборного железобетона — элементов, изготовленных на заводе или строительном полигоне.

2. СВОЙСТВА БЕТОНОВ, АРМАТУРЫ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

2.1. Гидротехнические бетоны и требования к ним

Гидротехнические бетоны применяются для возведения сооружений, постоянно или периодически омываемых водой. Они должны обеспечивать длительную службу (долговечность) сооружений в данных климатических и эксплуатационных условиях. Требования к гидротехническому бетону зависят от расположения конструкций, их массивности, действующего напора воды и климатических условий [1].

Принято подразделять бетон на надводный, переменного уровня воды и подводный; массивный и немассивный; наружной и внутренней зоны конструкций причальных сооружений (табл. 1).

Таблица 1

Требования к гидротехническому бетону

Требования к бетону	Массивные сооружения						Немассивные конструкции		
	Наружная зона			Внутренняя зона					
	Зона относительно уровня воды								
	Подводная	Переменная	Надводная	Подводная	Переменная	Надводная	Подводная	Переменная	Надводная
Водостойкость	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Водонепроницаемость	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Морозостойкость	-	+	+	-	-	-	+	+	+
Малое тепловыделение	+	+	+	+	+	+	-	-	-

Примечание: «+» – требование регламентируется; «-» – не регламентируется.

Массивность конструкции определяется модулем поверхности, открытой для высыхания (набухания):

$$m = \frac{S}{V} \text{ (м}^{-1}\text{)}, \quad (1)$$

где S – площадь поверхности конструкции, открытой для высыхания или набухания; V – объём конструкции.

В соответствии с нормами бетонные и железобетонные конструкции разделяются на массивные ($m \leq 2$), средней массивности ($2 < m < 15$) и немассивные ($m \geq 15$) конструкции.

2.2. Структура бетона и его показатели качества

Существенным фактором, влияющим на структуру и прочность бетона, является количество воды, используемое для приготовления бетонной смеси и оцениваемое водоцементным отношением В/Ц. Для химического соединения с цементом достаточно В/Ц $\approx 0,2$. Однако по технологическим соображениям для достижения достаточной подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси количество воды берут с избытком. При этом жёсткие бетонные смеси, заполняющие форму под влиянием механической виброобработки, имеют В/Ц = 0,3...0,4; подвижные бетонные смеси, заполняющие форму под влиянием текучести, имеют В/Ц = 0,5...0,6.

Физически бетон представляет собой капиллярно-пористый материал, в котором нарушена сплошность массы и присутствуют все три фазы состояния вещества — твёрдая, жидкая и газообразная, что и определяет деформативно-прочностные свойства бетона.

В зависимости от назначения железобетонных конструкций и от условий эксплуатации устанавливают следующие показатели качества бетона:

- класс бетона по прочности на осевое сжатие B ;

- класс бетона по прочности на осевое растяжение B_t ;
- марка бетона по морозостойкости F ;
- марка по водонепроницаемости, например, W ;
- марка по средней плотности D ;
- марка по самоупрочению S_p .

Классом бетона по прочности на осевое сжатие B , МПа, называется прочность на сжатие бетонных кубов с размером ребра 150 мм, испытанных по методике ГОСТа в возрасте 28 суток при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ с обеспеченностью 0,95 [9].

Класс бетона по прочности на осевое сжатие контролируется в обязательном порядке на заводе-изготовителе и строительной площадке и обязательно указывается в проекте.

В целях количественной оценки изменчивости прочности бетона и обеспечения её гарантированного значения с заданной надёжностью используют методы теории вероятностей. Для этого предварительно строят опытные кривые распределения прочности бетона (рис. 1).

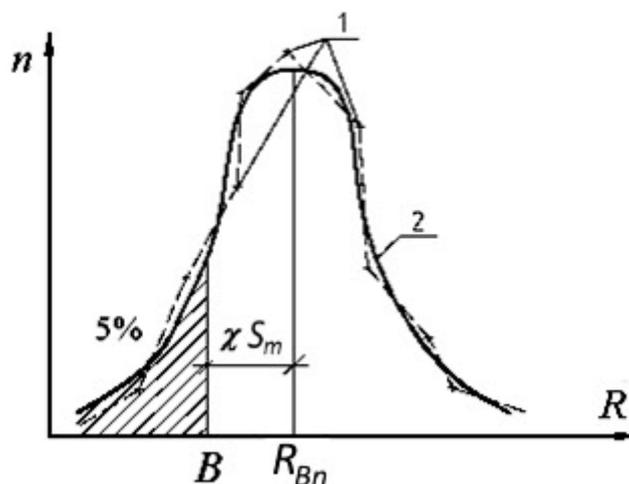


Рис. 1. Кривые распределения кубиковой прочности: n — число кубов, имеющих одинаковую прочность; R — величина прочности; 1 — опытная кривая распределения прочности; 2 — теоретическая кривая распределения прочности (нормальное распределение — кривая Гаусса)

На оси абсцисс теоретической кривой распределения прочности бетона наименьшее контролируемое значение прочности бетона при обеспеченности 0,95 — временное сопротивление сжатию $R_n = B$ расположено на расстоянии $1,64\sigma$ влево от среднего значения кубиковой прочности \bar{R} :

$$B = R_n = R_m - 1,64 \cdot \sigma, \text{ или } B = R_n = R_m(1 - 1,64\nu), \quad (2)$$

где R_m — среднее значение прочности бетона; 1,64 — число стандартных отклонений (показатель надёжности) для нормального распределения (Гаусса) при обеспеченности 0,95; σ — среднее квадратичное отклонение прочности бетона; $\nu = \frac{\sigma}{R}$ — коэффициент вариации.

Марка бетона по морозостойкости (F) — число циклов попеременного замораживания до $(-18 \pm 2)^\circ\text{C}$ и оттаивания эталонных кубов в насыщенном водой состоянии, после которого прочность кубов с обеспеченностью 0,95 снижается на 10%.

Марка бетона по водонепроницаемости (W) характеризуется предельным давлением воды, $\text{кг}/\text{см}^2$, при котором ещё не наблюдается её просачивание через испытываемый стандартный образец.

К бетону конструкций гидротехнических сооружений предъявляются дополнительные, устанавливаемые в проектах и подтверждённые экспериментальными исследованиями требования: по предельной растяжимости, по отсутствию вредного взаимодействия щелочей цемента с заполнителями, по сопротивлению истиранию потоком воды с донными и взвешенными наносами, по стойкости против кавитации и химического воздействия и по тепловыделениям при твердении бетона.

Заданные класс и марку бетона получают соответствующим подбором состава бетонной смеси с последующим испытанием контрольных образцов.

Основной прочностной характеристикой бетона сжатой зоны является призмная прочность R_b , т. е. временное сопротивление осевому сжатию бетонных призм. Принято испытывать призмы с отношением её высоты к стороне поперечного сечения $h/a = 4$.

При осевом растяжении прочность бетона в 10...20 раз меньше прочности на сжатие. Прочность бетона на растяжение связана с кубиковой прочностью эмпирической формулой Фере

$$R_{bt} = 0,232\sqrt[3]{R^2} . \quad (3)$$

Опытным путём R_{bt} определяют испытанием на разрыв образцов в виде восьмёрок, или на раскалывание образцов в виде цилиндров, кубов либо на изгиб бетонных балок–призм.

2.3. Свойства бетона и его деформации

В бетоне различают деформации двух основных видов:

а) объёмные (температурно-влажностные), развивающиеся во всех направлениях под действием усадки (набухания), изменения температуры;

б) силовые, развивающиеся, главным образом, вдоль направления действия сил.

Деформации при однократном нагружении кратковременной нагрузкой

Деформативно-прочностные характеристики бетона при испытании бетонных призм на сжатие и восьмёрок на растяжение определяют по соответствующим диаграммам работы бетона (рис. 2).

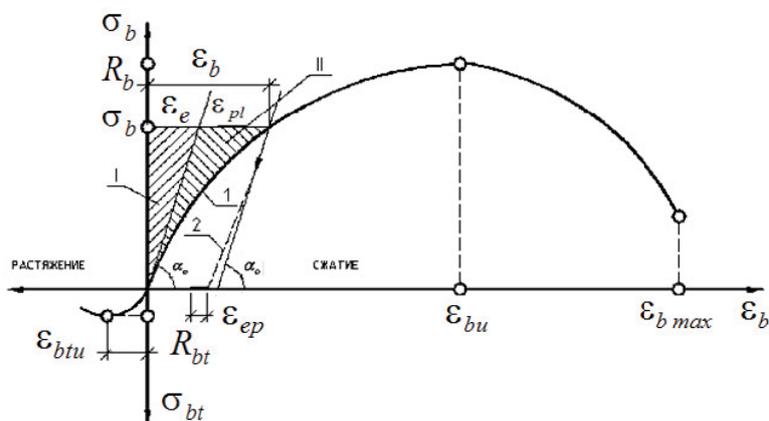


Рис. 2. Диаграммы состояния бетона при сжатии и растяжении:

I – область упругих деформаций; II – область пластических деформаций; 1 – загрузка; 2 – разгрузка; ε_{bu} – предельная сжимаемость; ε_{btu} – предельная растяжимость; ε_{ep} – неупругие деформации, восстанавливающиеся после разгрузки

При сжатии бетонной призмы в ней возникают деформации в продольном и поперечном направлениях. В местах концентрации напряжений, обусловленной неоднородностью бетона, появляются микротрещины, которые по мере увеличения нагрузки соединяются и образуют видимые трещины, направленные параллельно сжимающей силе. Разрушение образца наступает вследствие разрыва бетона в поперечном направлении.

Упругопластический (секущий) модуль упругости сжатого бетона равен

$$E_{b,pl} = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_b} E_b = \nu_b \cdot E_b, \quad (4)$$

где $\varepsilon_b = \varepsilon_e + \varepsilon_{pl}$ — полные деформации бетона при сжатии; ε_e – упругие деформации; ε_{pl} – неупругие (пластические) деформации; $\nu_b = \varepsilon_e / \varepsilon_b$ — коэффициент упругопластических деформаций бетона; E_b — начальный модуль упругости бетона.

По данным опытов, коэффициент ν_b изменяется от 1 (при упругой работе) до 0,45 при кратковременном нагружении; при длительном действии нагрузки он изменяется в пределах $0,1 \leq \nu_b \leq 0,15$.

При растяжении аналогичным путём получаем выражение для упругопластического модуля деформаций при растяжении

$$E_{bt,pl} = \nu_{bt} \cdot E_b, \quad (5)$$

где $\nu_{bt} = \frac{\varepsilon_{et}}{\varepsilon_{bt}}$ – коэффициент упругопластических деформаций при растяжении.

При напряжениях, близких к временному сопротивлению бетона при растяжении, т.е. при $\sigma_{bt} = R_{bt}$ имеем $\nu_{bt} = 0,5$. Тогда предельная растяжимость бетона будет равна

$$\xi_{bt0} = \frac{R_{bt}}{\nu_{bt} E_b} = \frac{R_{bt}}{0,5 E_b} = \frac{2R_{bt}}{E_b}. \quad (6)$$

Свойство бетона, характеризующееся нарастанием неупругих деформаций при длительном действии нагрузки, называют *ползучестью бетона*.

Для количественного определения деформаций ползучести при сжатии введены понятия меры и характеристики ползучести.

Мера ползучести представляет собой отношение деформаций ползучести к действующим напряжениям

$$C_t = \frac{\xi_{pl}(t)}{\sigma_b}. \quad (7)$$

Характеристика ползучести – отношение деформаций ползучести к упругим деформациям при нагружении образца

$$\varphi_t = \frac{\xi_{pl}(e)}{\xi_e}. \quad (8)$$

Между мерой и характеристикой ползучести существует связь

$$C = \frac{\xi_{pl}}{\sigma_b} = \frac{\xi_{pl}}{E_b \xi_e} = \frac{\varphi}{E_b}. \quad (9)$$

Пластические деформации (деформации ползучести)

$$\xi_{pl} = C \cdot \sigma_b = \frac{\varphi \cdot \sigma_b}{E_b}. \quad (10)$$

С ползучестью бетона связано явление релаксации (рассеивания) напряжений.

Свойство бетона, связанное с уменьшением с течением времени напряжений при постоянной деформации, называют *релаксацией напряжений*.

2.4. Свойства арматуры

Арматурой называют стержни, размещаемые в бетоне в соответствии с расчётом, конструктивными и технологическими требованиями.

Арматуру в железобетонных конструкциях устанавливают для восприятия растягивающих напряжений или для усиления сжатого бетона.

По назначению различают арматуру рабочую, конструктивную и монтажную. Рабочая арматура – это арматура, устанавливаемая по расчёту (основная арматура). Конструктивная арматура воспринимает не учитываемые расчётом усилия от усадки бетона, изменения температуры, равномерно распределяет усилия между отдельными стержнями и т.п. (например, конструктивная арматура увеличивает сцепление бетона с продольной арматурой, предохраняет продольные сжатые стержни от выпучивания, и служит элементом связи растянутой и сжатой зон сечений). Монтажная арматура обеспечивает проектное положение арматуры, объединяет её в каркасы. Рабочая и конструктивная арматура одновременно могут выполнять функции монтажной.

Арматуру разделяют по четырём признакам.

1. По технологии изготовления различают арматуру:

а) горячекатаную стержневую ($d \geq 6$ мм), получаемую способом проката;

б) холоднотянутую проволочную, изготовленную путём вытяжки в холодном состоянии.

2. По способу последующего упрочнения горячекатаная арматура может быть термически упрочнённой (подвергнута термической обработке) или упрочнённой в холодном состоянии (вытяжка, волочение).

3. По форме поверхности различают арматуру периодического профиля и гладкую.

4. По способу применения различают арматуру напрягаемую, подвергнутую предварительному натяжению и ненапрягаемую.

Горячекатаная и холоднотянутая арматура называется гибкой. Кроме неё, применяют жёсткую (несущую) арматуру из прокатных или сварных двутавров, швеллеров, уголков и т. п. Жёсткая арматура до отвердения бетона работает как металлическая конструкция на нагрузку от собственного веса, веса подвешенной опалубки и свежесуложенной бетонной смеси и т. п.

Характеристики прочности и деформаций арматурных сталей устанавливают по диаграмме ($\sigma_s - \epsilon_s$), полученной при испытании образцов на растяжение (рис. 3).

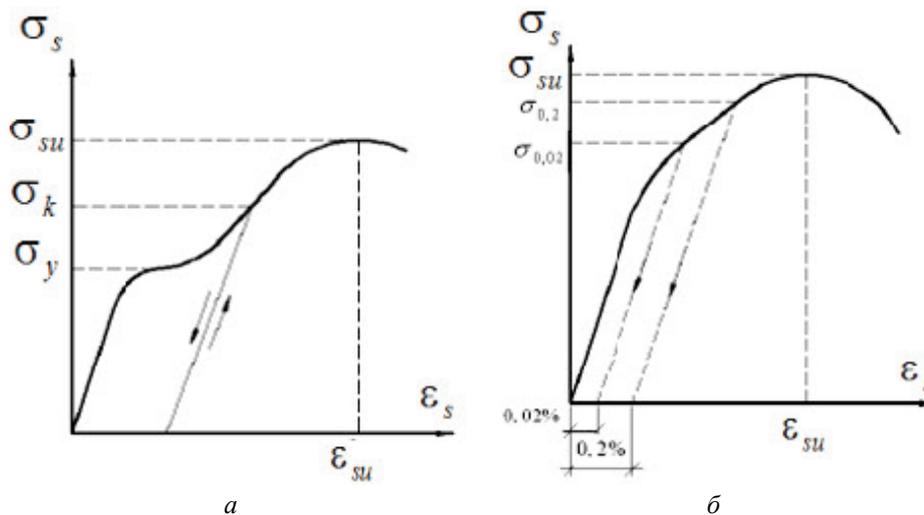


Рис. 3. Диаграммы арматурной стали:
а — с физической площадкой текучести; б — с условным пределом текучести

Основные свойства арматурных сталей следующие.

1. Пластические свойства арматурных сталей имеют большое значение для механизации арматурных работ и для работы железобетонных конструкций под нагрузкой: перераспределение усилий в статически неопределимых системах, при интенсивных динамических нагрузках и т. п.

2. Свариваемость — способность арматуры к надёжному соединению с помощью электросварки без трещин, каверн и других дефектов. Хорошая свариваемость — у горячекатаных малоуглеродистых и низколегированных сталей. Нельзя сваривать термически упрочнённые (кроме специальных «свариваемых») и упрочнённые вытяжкой, так как при сварке утрачивается эффект упрочнения.

3. Хладноломкость — хрупкое разрушение под нагрузкой при отрицательных температурах (ниже минус 30 °С).

4. Реологические свойства характеризуются ползучестью и релаксацией. Ползучесть арматурных сталей проявляется лишь при больших напряжениях и высоких температурах. Более опасна релаксация — падение напряжений во времени при неизменной длине образца. Релаксация оказывает большое влияние на работу предварительно напряжённых конструкций, так как приводит к снижению уровня созданного предварительного напряжения.

5. Усталостное разрушение наблюдается при действии многократно повторяющейся нагрузки, оно носит хрупкий характер.

6. Динамическое упрочнение имеет место при действии кратковременных ($t \leq 1$ с) динамических нагрузок большой интенсивности (взрывных, сейсмических). Динамический предел текучести для мягких сталей $\sigma_{y,d} = (1,2 \dots 1,3)\sigma_y$.

Все арматурные стали разделяют на классы, объединяющие стали с одинаковыми прочностными и деформативными свойствами. При этом к одному классу могут относиться стали, отличающиеся по химическому составу, т. е. разных марок.

Стержневая арматура обозначается буквой «А» с указанием минимального значения предела текучести в Н/мм². Например, горячекатаная: гладкая класса А240; периодического профиля классов А400, А600, А800; термомеханически и термически упрочнённая периодического профиля классов Ат600, Ат1000.

Для дополнительной характеристики стержневой арматуры к обозначениям классов вводятся индексы. Индекс «С» в обозначении термически и термомеханически упрочнённой арматуры указывает на возможность соединения стержней с помощью сварки, например, Ат600С; индекс «К» — на повышенную стойкость к коррозии под напряжением, например, Ат800К.

Холоднотянутая проволочная арматура обозначается буквой «В» с указанием предела текучести в Н/мм² и подразделяется на обыкновенную проволоку рифлёную (периодического профиля) класса В500, а также высокопрочную проволоку периодического профиля класса В1200.

Для ускорения производства работ ненапрягаемая гибкая арматура в виде отдельных стержней объединяется в каркасы и сетки, в которых стержни в местах пересечений соединяются контактной точечной сваркой или вязкой с помощью вязальной проволоки.

Несущие армоконструкции гидротехнических сооружений – решётчатые сварные элементы, обладающие прочностью и жёсткостью, достаточной для восприятия всех нагрузок, действующих на бетонную конструкцию до приобретения бетоном необходимой прочности: от веса свежесушеного бетона, строительных механизмов, транспортных машин и т. п.

2.5. Свойства железобетона

Железобетон — искусственный материал, состоящий из бетона и стальной арматуры, составляющей с бетоном монолитное целое и работающей с ним совместно.

Совместная работа бетона и стальной арматуры обуславливается выгодным сочетанием физико-механических свойств этих материалов:

1) при твердении бетона между ним и арматурой возникают значительные силы сцепления, поэтому в железобетонных элементах оба материала при нагружении деформируются совместно;

2) плотный бетон (содержание цемента не менее 250 кг/м³) при обеспечении необходимого защитного слоя является надёжной защитой арматуры от коррозии, высоких температур и механических повреждений;

3) сталь и бетон обладают близкими по значению коэффициентами температурных деформаций: $\alpha_s = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$, $\alpha_b \approx 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$.

Свойства железобетона зависят не только от свойств бетона и арматуры, но также от количества арматуры, её размещения в конструкции, наличия предварительного напряжения и т. п.

Сцепление арматуры с бетоном является одним из основных свойств железобетона, оно обеспечивает работу бетона и арматуры в составе железобетонной конструкции. Под сцеплением арматуры с бетоном подразумевают непрерывную связь по поверхности контакта между арматурой и бетоном, обеспечивающую их совместную работу. Прочность сцепления зависит от:

1) зацепления в бетоне выступов на поверхности арматуры периодического профиля;

2) сил трения на поверхности контакта арматуры с бетоном, возникающих из-за усадки бетона;

3) склеивания арматуры с бетоном, возникающего из-за клеящей способности цементного геля.

Наибольшее влияние на прочность сцепления оказывает первый фактор: он обеспечивает около $\frac{3}{4}$ (70...80%) общего сопротивления скольжению арматуры в бетоне. Если арматура гладкая и круглая, сцепление арматуры с бетоном уменьшается в 2...3 раза.

Нормами проектирования значение прочности сцепления не устанавливается, но даются рекомендации по расчёту конструированию анкеровки арматуры, которые обеспечивают надёжное сцепление арматуры с бетоном.

Анкеровка — это закрепление концов арматуры внутри бетона или на его поверхности, способное воспринять определённое усилие.

Для того чтобы арматурные стержни могли работать с полным расчётным сопротивлением, необходимо обеспечить надлежащую анкеровку арматуры, осуществляемую соответствующим перепуском её за рассматриваемое сечение. Длина анкеровки зависит от диаметра и профиля стержней, расчётного сопротивления арматурной стали, вида и прочности бетона, напряжённого состояния окружающего стержень бетона и других факторов.

Усадка железобетона. Стальная арматура вследствие сцепления её с бетоном является внутренней связью, препятствующей свободной усадке бетона при твердении на воздухе и свободному набуханию бетона при твердении в воде. В результате в железобетонной конструкции возникает самоуравновешенное напряжённое состояние без участия внешних поверхностных сил: в бетоне — растягивающие напряжения, в арматуре — сжимающие напряжения. При достаточно высоком содержании арматуры в бетоне элемента могут возникать усадочные трещины. Согласно опытным данным, усадка и набухание железобетона в ряде случаев вдвое меньше, чем усадка и набухание бетона.

Начальные растягивающие напряжения в бетоне от усадки способствуют более раннему образованию трещин в тех зонах железобетонных элементов, которые испытывают растяжение от нагрузки. Однако с появлением трещин влияние усадки уменьшается. В стадии разрушения усадка не влияет на несущую способность статически определимых железобетонных элементов.

Ползучесть железобетона. Арматура в железобетонных конструкциях, являясь, как и при усадке, внутренней связью, препятствует свободной деформации ползучести в бетоне при длительном действии нагрузки. Ползучесть приводит к перераспределению напряжений между арматурой и бетоном. С течением времени напряжения в бетоне уменьшаются, в арматуре без предварительного напряжения — возрастают. В коротких центрально сжатых элементах ползучесть оказывает положительное влияние, обеспечивая более полное использование прочностных свойств арматуры. В гибких сжатых элементах ползучесть вызывает увеличение начальных эксцентриситетов и снижение несущей способности. В изгибаемых элементах ползучесть приводит к увеличению прогибов, в предварительно напряжённых конструкциях — к потерям предварительного напряжения. В статически неопределимых системах ползучесть играет положительную роль, снижая концентрацию напряжений и вызывая перераспределение внутренних усилий.

Защитный слой бетона — это расстояние от ближайшей поверхности арматуры до соответствующей грани конструкций. Защитный слой бетона для рабочей арматуры обеспечивает совместную работу арматуры с бетоном на всех стадиях работы элемента, а также защиту от внешних атмосферных, температурных воздействий.

Для гидротехнических сооружений толщину защитного слоя следует принимать: не менее 30 мм для рабочей арматуры и 20 мм для распределительной арматуры и хомутов в балках и плитах высотой до 1 м, а также в колоннах с меньшей стороной до 1 м; не менее 60 мм и не менее диаметра стержня для рабочей арматуры массивных конструкций с минимальным размером сечения более 1 м. Толщину защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях морских гидротехнических сооружений необходимо принимать: для стержневой рабочей арматуры — не менее 50 мм; для распределительной арматуры и хомутов — не менее 30 мм.

При эксплуатации железобетонных конструкций в условиях агрессивной среды толщину защитного слоя необходимо назначать с учётом требований СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Также при назначении толщины защитного слоя бетона необходимо учитывать требования СНиП 21-01-97 Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений (актуализированы в 2016 г).

2.6. Коррозия железобетона и меры защиты от неё

При действии на железобетонные конструкции агрессивной жидкой или газообразной внешней среды в них возникают процессы коррозии, развитие которых может вызвать значительные повреждения. Процессы коррозии могут протекать в бетоне и арматуре. Развитие коррозии зависит от плотности и проницаемости бетона, свойств цемента, скорости поступления агрессивной жидкости или газа к поверхности бетона, характера агрессивной среды.

Различают три основных вида коррозии бетона.

Первый вид — процессы коррозии, которые возникают в бетоне при действии водных растворов, когда в воде, фильтрующейся через бетон, происходит прямое растворение частей гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (так называемая коррозия выщелачивания). Составные части цементного камня растворяются и выносятся из структуры бетона. Особенно интенсивно эти процессы могут протекать при фильтрации воды через толщу бетона, причём наиболее опасна фильтрация под напором.

Второй вид — химические взаимодействия (обменная реакция) между компонентами цементного камня и раствора. Образующиеся продукты таких химических реакций легкорастворимы и выно-

сятся из структуры в результате диффузии или фильтрационных потоков. Такой вид коррозии — это процессы, возникающие при действии на бетон растворов кислот и некоторых солей.

Третий вид — процессы, при которых в порах бетона происходят накопления и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции с увеличением твёрдой фазы (эффект льда). Наиболее часто такие явления наблюдаются в морских сооружениях, которые частично погружены в воду и имеют открытую для испарения поверхность. Увеличение объёма твёрдой фазы сопровождается возникновением усилий в цементном камне, которые могут привести к разрушению структуры бетона.

Коррозия арматуры обычно протекает одновременно с коррозией бетона. Арматура защищена от коррозии бетонной оболочкой из щелочной среды, создаваемой наличием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне. При эксплуатации углекислый газ проникает через систему пор и капилляров вглубь железобетонной конструкции. В результате протекающего процесса карбонизации бетона уменьшается щёлочность и, соответственно, защитное действие бетона по отношению к арматуре. После этого начинается процесс коррозии арматуры. Продукты коррозии арматуры имеют больший объём по сравнению с первоначальным объёмом стали. Они создают давление на окружающий бетон, происходит откалывание защитного слоя бетона, процесс коррозии протекает ещё быстрее. Также развитию коррозионных процессов в стальной арматуре способствуют блуждающие токи.

Наиболее простой и действенной мерой предохранения бетона от влияния агрессивной среды является увеличение его плотности, а железобетона — защитный слой необходимой толщины.

3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЁТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ

3.1. Пределные состояния железобетонных конструкций

В настоящее время строительные конструкции и основания рассчитывают на нагрузки и воздействия по методу предельных состояний. При расчёте по этому методу чётко устанавливаются предельные состояния конструкций и вводится система расчётных коэффициентов, характеризующих конструкцию от наступления этих состояний при самых неблагоприятных сочетаниях нагрузок и при наименьших значениях прочностных характеристиках материалов. Прочность сечений определяется по стадии разрушения, при этом безопасность работы конструкции под нагрузкой оценивается системой расчётных коэффициентов.

Пределными считаются состояния, при которых конструкции перестают удовлетворять предъявляемым к ним в процессе эксплуатации требованиям, т. е. теряют способность сопротивляться внешним нагрузкам и воздействиям или получают перемещения либо местные повреждения.

Железобетонные конструкции должны удовлетворять требованиям расчёта по двум группам предельных состояний: по несущей способности – первая группа предельных состояний; по пригодности к нормальной эксплуатации – вторая группа предельных состояний.

Расчёт по предельным состояниям первой группы выполняют, чтобы предотвратить разрушение (расчёт по прочности), потерю устойчивости формы конструкции или её положения (например, опрокидывание, скольжение подпорных стенок), усталостное разрушение от совместного воздействия силовых факторов и неблагоприятных воздействий внешней среды (например, попеременное замораживание и оттаивание).

В общем виде условие прочности записывается в виде

$$\gamma_n \cdot \gamma_{lc} \cdot F \leq \gamma_c \cdot F_u, \quad (11)$$

где F – расчётное усилие; F_u – расчётная несущая способность сечения; γ_n — коэффициент надёжности по ответственности (назначению) конструкции; γ_{lc} — коэффициент сочетания нагрузок; γ_c — коэффициент условий работы.

Коэффициенты безопасности γ_n , γ_{lc} , γ_c принимаются для гидротехнических сооружений по СП 58.13330.2012 [3].

Расчёт по предельным состояниям второй группы выполняют, чтобы предотвратить образование трещин, если они недопустимы при эксплуатации $F \leq F_{crc}$, образование чрезмерного или продолжительного раскрытия трещин, если по условиям эксплуатации трещины допустимы $a_{crc} \leq a_{crc,u}$, чрезмерные перемещения (прогибы, углы поворота, амплитуды колебаний и т. д.) $f \leq f_u$.

Расчёт по предельным состояниям конструкции и отдельных её элементов проводится для всех этапов: изготовления, транспортирования, монтажа, эксплуатации.

3.2. Классификация нагрузок. Нормативные и расчётные нагрузки

В зависимости от продолжительности действия нагрузки делят на постоянные и временные [4, 5].

Постоянными являются нагрузки от веса несущих и ограждающих конструкций, массы и давления грунтов, воздействия предварительного напряжения.

Кратковременными являются нагрузки от веса людей, деталей, материалов; часть нагрузки на перекрытия причалов; нагрузки при изготовлении, перевозке и монтаже; от кранов; снеговые, ветровые; температурные климатические воздействия.

Длительными являются нагрузки от веса стационарного оборудования, нагрузки от крана и т. п.

Особые нагрузки включают сейсмические и взрывные воздействия; неравномерные деформации основания; связанные с резким нарушением технологического процесса (резкое повышение или понижение температуры) и др.

Нормативные нагрузки устанавливаются нормами по заранее заданной вероятности превышения средних значений или по номинальным значениям.

Расчётные нагрузки для расчёта конструкций на прочность и устойчивость определяют умножением нормативной нагрузки на коэффициент надёжности по нагрузке γ_f , обычно больший единицы.

Расчётные нагрузки для расчёта конструкций по второй группе предельных состояний принимаются равными нормативным значениям ($\gamma_f = 1$).

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru