

# ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

**Методическое пособие по изучению дисциплины  
и выполнению курсовой работы**

студентам направления «Природообустройство и водопользование»



Брянск 2012

УДК 626(07)

ББК 38.6

И Дунаев А.И., Зверева Л.А. Инженерные конструкции. Методическое пособие по изучению дисциплины и выполнению курсовой работы./ Дунаев А.И., Зверева Л.А. – Брянск , Изд. Брянской ГСХА, 2012 – с.56

В пособии даются практические рекомендации и методика расчета параметров металлических и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Приводятся примеры расчёта и необходимые нормативно-справочные материалы, а также исходные данные и указания по выполнению контрольных заданий

Одобрено методической комиссией факультета энергетики  
и природопользования.

Рецензент: Мельникова Е.А. к.т.н.

© ФГБУ ВПО Брянская ГСХА, 2012  
© Дунаев А.И., Зверева Л.А, 2012

## Содержание

Введение.....	4
Содержание дисциплины.....	5
Рекомендуемая литература .....	9
Указания по выполнению курсового проекта.....	10
Задание 1 Расчёт металлического плоского ригельного затвора.....	15
1.1 Методические указания по выполнению расчётов.....	17
1.2 Определение основных геометрических размеров затвора.....	17
1.3 Пример расчёта основных геометрических размеров затвора.....	19
1.4 Расчёт ригеля.....	21
1.5 Пример расчёта ригеля.....	27
1.6 Расчёт подъемного усилия.....	31
1.7 Пример расчёта подъемного усилия.....	33
Задание 2 Расчёт на прочность и устойчивость железобетонной плотины.....	35
2.1 Методические указания по выполнению расчёта.....	37
2.2 Расчёт напорной плиты контрфорсной плотины.....	40
2.3 Пример расчёта напорной плиты контрфорсной плотины .....	41
2.4 Расчёт устойчивости контрфорса на сдвиг .....	45
2.5 Пример расчёта устойчивости контрфорса на сдвиг .....	47
Приложения .....	49
Литература .....	56

## Введение

Курс «Инженерные конструкции» относится к группе общеинженерных дисциплин и является базовым для изучения специальных профилирующих дисциплин, обеспечивающих профессиональную подготовку инженеров по водохозяйственным специальностям

Он основывается на знаниях общетеоретических и технических дисциплин, таких, как теоретическая механика, сопротивление материалов, строительная механика, строительные материалы.

Цель изучения дисциплины «Инженерные конструкции» состоит в том, чтобы научиться проектировать технически целесообразные и прогрессивные конструкции гидротехнических сооружений, отвечающие требованиям прочности, жесткости, трещино-стойкости, долговечности, экономичности и т. п.; приобрести навыки по расчету и конструированию конструкций, пользованию нормами и инструкциями, рабочими чертежами, справочной и технической литературой; уяснить роль советской науки и ученых в развитии теории расчета и создании прогрессивных конструкций для водохозяйственного строительства.

В результате изучения дисциплины будущий специалист должен владеть методами расчета конструкций на прочность и устойчивость, основными принципами конструирования элементов; знать основные свойства материалов, положения расчета конструкций по предельным состояниям, основные принципы проектирования конструкций мелиоративного назначения (затворы, каркасные здания и сооружения, трубы, лотковые каналы и т. п.); иметь представление о сортаменте сталей и пиломатериалов, унифицированных железобетонных изделий, расчете конструкций с учетом пластических свойств материалов и перераспределения усилий, экспериментальных исследованиях конструкций.

## Содержание дисциплины

1 Инженерные конструкции и методы их расчета.

1.1. Общие сведения о зданиях и сооружениях. Здания и сооружения природоохранного мелиоративного назначения, их классификация. Конструктивные элементы зданий и сооружений.

1.2. Основные положения расчета инженерных конструкций по предельным состояниям. Две группы предельных состояний, система расчетных коэффициентов. Нормативные и расчетные, постоянные, временные и особые нагрузки. Сочетания нагрузок. Нормативные и расчетные сопротивления материалов. Сущность расчета по двум группам предельных состояний.

2. Металлические конструкции.

2.1. Металлы, применяемые для инженерных конструкций. Стали и другие металлы для различных конструкций, их физико-механические свойства. Классификация строительных сталей. Углеродистые и легированные стали. Марки строительных сталей. Выбор марок сталей для строительных конструкций.

Сортаменты стальных профилей. Гнутые профили. Трубы. Технические и экономические преимущества различных профилей. Характеристики отдельных типов профилей рекомендуемые области их применения. Конструктивные минимумы.

Коррозия металлических конструкций и меры борьбы с ней.

2.2. Работа и расчет элементов металлических конструкций Особенности расчета металлических конструкций и их элементов по предельным состояниям.

Работа и расчет металлических элементов на центральное растяжение, центральное сжатие, изгиб, внецентренное растяжение и сжатие. Обеспечение прочности и устойчивости. Подбор сечений растянутых, сжатых и изгибаемых элементов.

2.3 Соединение элементов металлических конструкций. Сварные и болтовые соединения, области их рационального применения.

Виды сварных соединений: встык, внахлест (угловые, лобовые и фланговые швы) соединения тавром и в угол. Подготовка элементов под сварку. Температурные воздействия сварки и усадочные напряжения. Меры для уменьшения их вредного влияния. Работа и расчет стыковых сварных соединений и соединений внахлест. Конструктивные требования к сварным соединениям. Минимальные и максимальные размеры сварных швов.

Болтовые соединения. Их классификация и области рационального применения, работа и расчет болтовых соединений на обычных и высокопрочных болтах. Конструктивные требования по размещению болтов в соединениях.

2.4 Балки и балочные конструкции. Общая характеристика балок и балочных конструкций. Прокатные и составные балки. Компоновка балочных клеток, сопряжения балок.

Расчет балок по первой и второй группам предельных состояний. Подбор сечения прокатной балки, проверки прочности, устойчивости и жесткости.

Составные балки. Подбор сечения составных балок. Определение высоты составления и конструктивные указания о назначении других основных

размеров балок; учет влияния производственных и экономических факторов. Проверки балки с принятым сечением прочность, общую устойчивость и жесткость. Изменение поперечного сечения балки по длине. Ребра жесткости. Соединение поясов со стенкой (поясные швы). Опорные концы балок. Стыки элементов составных балок: заводские и монтажные.

2.5 Стальные колонны и стойки. Общая характеристика стоек и колонн, область их применения. Сплошные и сквозные сжатые элементы.

Расчет сплошных прокатных и составных стержней. Их устойчивость. Определение несущей способности и подбор сечения. Обеспечение местной устойчивости элементов сплошных стержней.

2.6 Каркасные одноэтажные здания производственного назначения. Каркасные одноэтажные здания, их классификация. Области применения зданий в мелиоративном и природоохранном строительстве. Продольные и поперечные рамы зданий. Обеспечение пространственной жесткости каркаса. Связи. Конструктивные элементы рам.

Покрытия зданий по стропильным фермам. Системы покрытий. Покрытия с прогонами и без прогонов.

Стропильные легкие фермы. Области их рационального применения. Выбор контура ферм. Типы решеток ферм и выбор типа решетки. Назначение высоты ферм и разбивка их на панели

Типы сечений поясов и решеток ферм. Выбор типа сечений и подбор сечений элементов ферм. Расчетная длина элементов ферм. Конструирование и расчет узлов ферм с узловыми фасонками и без них. Назначение размеров и очертания фасонки. Разбивка ферм на отправочные элементы.

3. Железобетонные конструкции.

3.1. Общие сведения о железобетонных конструкциях. Основные принципы работы железобетонных конструкций. Совместная работа бетона и арматурной стали. Понятие о предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Способы создания предварительного напряжения. Монолитные, сборные и сборно-монолитные железобетонные конструкции.

Прочность бетона и его деформативные свойства под нагрузкой. Кратковременное и длительное действие нагрузки. Ползучесть бетона. Температурные и влажностные деформации бетона. Классы и марки бетона.

Арматура. Классификация арматуры. Механические свойства арматурных сталей. Классы арматурной стали. Арматурные изделия. Соединения арматуры. Закладные детали.

Сцепление арматуры с бетоном. Анкеровка ненапрягаемой и напрягаемой арматуры. Определение длины анкеровки. Усадка, набухание и ползучесть железобетона. Коррозия и гравитационная эрозия железобетона.

3.2. Основы теории расчета железобетонных конструкций. Работа железобетонных элементов при создании предварительного напряжения. Величина предварительного натяжения арматуры. Потери предварительных напряжений. Определение напряжений в бетоне и арматуре. Наибольшие допустимые напряжения обжатия бетона.

Напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов под внешней нагрузкой.

Особенности расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям. Трещинно-стойкость железобетонных конструкций. Категории требований к трещинно-стойкости.

3.3 Конструирование и расчет прочности изгибаемых элементов. Изгибаемые железобетонные элементы. Плиты и балки, области применения. Балочные плиты. Типы поперечных сечений. Назначение основных размеров. Монолитные, сборные и сборно-монолитные плиты. Способы их армирования.

Балки. Типы поперечных сечений. Предварительное назначение размеров. Размещение продольной, поперечной и конструктивной арматуры. Армирование балок сварными вязаными каркасами.

Расчет прочности по нормальным сечениям элементов прямоугольного сечения одиночной арматурой. Подбор сечения и проверка прочности.

Особенности работы, конструирования и расчета прочности элемента с двойной арматурой. Учет работы предварительно напряженной арматуры в сжатой зоне.

Расчет элементов таврового сечения при расположении полки в сжатой и растянутой зонах. Определение расчетной ширины сжатой полки. Подбор сечения и проверка прочности.

Назначение процента армирования, классов бетона и марок арматурной стали.

Эпюра материалов. Особенности ее построения.

3.4 Конструирование и расчет прочности сжатых элементов. Сжатые железобетонные элементы. Колонны и стойки. Области их применения. Конструирование сжатых элементов, типы поперечных сечений, значение их размеров, расположение предельной, поперечной и конструктивной арматуры.

Армирование стоек сварными и вязаными каркасами. Назначение марок бетона, марок арматурной стали, процента армирования для сжатых элементов.

Расчет прочности сжатых элементов. Учет влияния гибкости сжатых элементов. Определение критической силы. Случаи разрушения сжатых элементов.

Расчет прочности элементов прямоугольного сечения. Подбор сечения и проверка прочности.

3.5. Конструирование и расчет прочности растянутых элементов. Центральное внецентренно растянутые железобетонные элементы. Области их применения. Конструирование растянутых элементов: типы поперечных сечений, расположение продольной и поперечной арматуры. Назначение процента армирования, марки бетона и марок арматуры сталей.

Расчет прочности центрально растянутых элементов. Расчет прочности внецентренно растянутых элементов прямоугольного сечения (случаи малых и больших эксцентритов). Подбор сечения.

3.6 Расчет конструкций по предельным состояниям второй группы по деформациям и трещинообразованию, основные задачи расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям второй группы.

Трещинно-стойкость железобетонных конструкций. Категории требований к трещинно-стойкости. Учет условий эксплуатации конструкций и защиты арматуры от коррозии.

Расчет образования трещин, нормальных к продольной оси центрально растянутых, изгибаемых и внецентренно в загруженных элементах с ненапрягаемой и предварительно напряженной арматурой. Основные предпосылки и допущения, используемые при расчете.

Учет влияния неупругих деформаций бетона сжатой и растянутой зоны. Расчет по раскрытию трещин. Основные предпосылки и допущения, используемые при расчете. Центрально растянутые, изгибаемые и внецентренно нагруженные элементы. Учет длительности действия нагрузок.

Расчет по деформациям. Основные расчетные положения. Предельные прогибы железобетонных элементов. Учет влияния предварительного напряжения и длительности нагрузки.

3.7 Железобетонные здания производственного назначения. Производственные здания систем водоснабжения и водоотведения, их классификация. Одноэтажные здания. Конструктивные схемы зданий. Способы обеспечения пространственной жесткости.

Одноэтажные каркасные здания. Унифицированные габаритные схемы зданий. Компонировка здания. Поперечные и продольные рамы зданий, их конструктивные элементы. Конструирование и расчет несущих конструкций здания: плит и балок покрытия, колонн.

Стыки и соединения железобетонных конструкций. Классификация стыков. Шарнирные и жесткие стыки. Расчет и конструирование стыков и соединений сборных и монолитных железобетонных конструкций. Закладные детали, расчет и конструирование.

3.8 Специальные сооружения систем водоснабжения и водоотведения. Емкостные сооружения систем водоснабжения (резервуары, водонапорные башни, отстойники, осветлители и др.). Прямоугольные и круглые, сборные и монолитные резервуары. Конструктивные элементы резервуаров. Основные положения конструирования и расчета прямоугольных и круглых резервуаров.

Расчеты земляных сооружений на плоский сдвиг и на сдвиг по крупно-цилиндрическим плоскостям.

Расчеты подпорных и водоразделительных стенок. Расчет водобойной плиты при гашении избыточной энергии воды в нижнем бьефе.

Расчет устойчивости бетонной плотины на сдвиг. Явление кавитации. Проектирование профиля поверхностного водослива. Явления кавитации на лопастях турбин. Способы устранения и уменьшения кавитации. Общие и местные потери энергии воды в водоводах. Потери напора воды по длине водовода и местные потери. Сейсмические явления при сооружении гидроузлов и наполнении водохранилищ.

## Рекомендуемая литература

### Основная

2. Инженерные конструкции/ Р.И. Берген и др. под ред. Р.И. Берген. М.: Высш. шк., 1989 – 415 с.
3. Байков и др. Железобетонные конструкции, Стройиздат 1999
4. Беляев А.В. Соппротивление материалов, Москва, 1980 г.
5. Гидротехнические сооружения т. 1,2, под редакцией д.т.н. Гришина М.М., 1979.
4. Румянцев И.С., Качанов Г.М. Гидротехнические сооружения, Москва, Энергоатомиздат, 1994

### Дополнительная

1. Железняков Г.В. и др. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1983.
2. Лабораторный практикум по общему курсу строительных материалов, Москва, Высшая школа, 1978 г.
3. Мандриков А.П. Примеры расчёта железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1989
4. Сортамент стальных профилей.
5. СНиП 52-01-2003 Бетонные и ж/б конструкции общие положения., М, 2003
6. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и ж/б конструкции 1985.
7. СНиП 2.23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. М. 1982
8. СНиП II-15-74 Грунтоведение, М-1974 г.

## Указания по выполнению курсовой работы

### Общие положения

Целью выполнения курсового проекта является закрепление студентами теоретических и практических знаний по дисциплине, а также контроль за уровнем самостоятельного изучения дисциплины в межсессионный период.

Курсовой проект может быть представлена как в рукописном, так и машинописном виде. В обоих случаях она выполняется на стандартных листах формата А-4. Подшивают данные листы в скоросшиватель, на лицевую сторону, которой приклеивается титульный лист.

На одной стороне сплошного текста размещается 28-30 строк через полтора интервала. Исключение составляют те страницы, на которых расположены таблицы или иллюстрации. Текст размещают на одной стороне листа при вертикальном его расположении, выдерживая следующие поля: левое - 30 мм, правое - 10 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 25 мм.

Заголовки разделов пишут симметрично тексту. Заголовки подразделов (параграфов) пишут с абзаца. Абзацный отступ должен быть одинаковым и равен пяти знакам. Заголовки отделяются от текста сверху и снизу пробелом в три интервала (10 мм). Между заголовками раздела и подраздела оставляют расстояние, равное двум интервалам. Каждый раздел следует начинать с нового листа, подразделы продолжают по тексту.

Все страницы курсового проекта, нумеруются по порядку от титульного листа до последней страницы без пропусков и повторений. Первой страницей считается титульный лист и на нём номер страницы не проставляется. Номер страницы указывается в правом верхнем углу листа (либо по центру) арабскими цифрами без скобок, тире, литерных добавок.

Последней страницей работы (проекта) считается лист, разделяющий текст и приложения. В центре его пишутся слово «Приложения» и в обычном порядке ставится номер страницы.

## **Основные правила оформления таблиц, иллюстраций, формул**

Таблицы, рисунки, чертежи, схемы, графики, фотографии, как в тексте курсовом проекте должны быть выполнены на стандартных листах или наклеены на листы того же формата.

Цифровой материал в курсовом проекте рекомендуется оформлять в виде таблиц. Они должны в сжатом виде содержать необходимые сведения и легко читаться. Таблицы должны иметь номер и название, определяющие их тему и содержание, т.е. нумерационные и тематические заголовки. Сокращения в заголовках не допускаются.

При оформлении таблицы пишется слово «Таблица» и проставляется ее порядковый номер арабскими цифрами. Знак № не ставится. Затем ставится тире и дается заголовок, который начинают писать с заглавной буквы. Подчеркивать и раскрашивать заголовок не следует. Точка в конце названия таблицы не ставится, например:

Таблица 1- Перечень строительных машин и механизмов

При переносе таблицы на следующую страницу над ней помещают слова «Окончание таблицы 1». Заглавие таблицы на новой странице не повторяется. Если страница не полностью занята таблицей, то на ней размещают, кроме того, соответствующее количество строк. В графах таблиц нельзя оставлять сводные места: если данные отсутствуют надо ставить прочерк. Табличные столбцы могут заполняться текстом. При этом точку в конце текста не ставят.

Нумерация таблиц может быть сквозной через всю работу или по главам.

Во втором случае таблица имеет двойной номер, цифры отделяются точкой, например:

В главе 1 первая таблица оформляется;

Таблица 1.1, где первая цифра обозначает номер главы, а вторая - номер таблицы.

Таблицу размещают в тексте после первого о ней упоминания. При этом принято указывать в скобках сокращенное слово «табл.» и порядковый номер таблицы, например: (табл.1). При повторной ссылке на таблицу, кроме того, пишут сокращенное слово «смотри», например: (см. табл. 1). Другие сокращения не допускаются.

Примечания к таблице размещают непосредственно под ней.

В зависимости от содержания и характера работы иллюстрации могут быть в виде рисунков, схем, чертежей, графиков, диаграмм, фотографий, картограмм и др. Их помещают в тексте или выносят в отдельное приложение. Обозначением ссылки в тексте на весь иллюстрированный материал является сокращенное «рис.». Порядковый номер иллюстрации проставляется арабскими цифрами (без знака №). После номера ставится точка и указывается с прописной буквы название иллюстрации. В конце подписи точки не ставят, например:

Рис.1. Схемы к расчету ригеля

Нумерация иллюстраций допускается как сквозная, так и по главам. Во втором случае перед порядковым номером иллюстрации ставят номер главы, разделяя номера точкой, например:

Пояснительные данные к рисунку (условные обозначения и др.) приводят сразу под иллюстрацией (выше её названия).

Если иллюстрация комментируется в тексте, на неё, как правило, дается ссылка, например: (рис.1) или (рис. 1.1). При повторной ссылке на данную иллюстрацию добавляется сокращенное слово «смотри», например: (см. рис.1) или (см. рис. 1.1). Иллюстрации в приложениях нумеруют арабскими цифрами.

В курсовом проекте могут быть использованы формулы. Их вписывают от руки или на машинке разборчиво чернилами (пастой) или тушью такого же цвета, как и текст работы. Знаки, цифры, буквы размещаются в соответствии со смысловым значением формулы.

Значение каждого символа и числового коэффициента, входящего в формулу, располагают с новой строки непосредственно под формулой в той последовательности, в которой они даны в ней. Первую строку начинают со слова «где».

Номера формул, если их более одной, **нумеруют** в пределах каждого раздела двумя арабскими цифрами, разделенными точкой (первая означает номер раздела, вторая - формулы). Их следует ставить в круглых скобках на правом краю страницы. Например,

$$Z_{д. др} = \alpha_{доп} \times P_{др} \times F_{л} \quad (3)$$

где  $\alpha$  – доля допустимого изъятия из экосистемы прироста древесины,  $\alpha_{доп} = 0,2$ ;

$P_{др}$  - прирост древесины;

$F_{л}$  - площадь леса,  $F_{л} = 18\ 000$  га.

Допускается и сквозная нумерация формул. При ссылке на какую-либо формулу ее номер ставят в точно такой же графической форме, что и после формулы, то есть арабскими цифрами в круглых скобках.

Приложения имеют самостоятельную нумерацию, их располагают в порядке появления ссылок в тексте курсовой работы (проекта). Номер приложения проставляется в правом верхнем углу арабскими цифрами, например: Приложение 1, Приложение 2 и т.д. Ссылки на приложения в тексте работы оформляют аналогично ссылкам на таблицы, рисунки, например: (прил.1) - при первой ссылке, (см. **прил.1**) - при последующих ссылках.

При написании работы не допускаются неоправданные сокращения слов (например, х-во, с-х, и др.).

Сокращение слов не допускается в заголовках разделов, подразделов, таблиц, приложений и в подписях под иллюстрациями. В тексте курсового проекта допускаются сокращения лишь в тех случаях, когда установлено соответствующим стандартом или правилом русской орфографии, например: килограмм - кг.; год - г.; годы - гг.; и так далее - и т.д.; человеко-час - чел.- ч.; проценты - %; номер - № и др. Могут использоваться сокращения в названии предприятий, учреждений, организаций, например, производственный сельскохозяйствен-

ный кооператив (ПСК), и т.д. Допускаются сокращение терминов, если их часто повторяют по тексту, гидроэлектростанции - ГЭС. При этом необходимо их детально расшифровать после первого упоминания.

Не допускается использовать в тексте математические знаки без цифр, например: < (меньше или равно), > (больше или равно), % (процент), # (не равно), знак № (номер); применять в тексте математический знак минус (-) перед отрицательными значениями величин. Вместо знака (-) следует писать «минус». Числовые значения, выраженные в одной и той же единице физической или стоимостной величины, указывают только в конце последнего числового значения, например: 200, 500, 700 и 900 руб.

Единицы измерения необходимо указывать в соответствие с установленными стандартами. Денежные единицы измерения ставят с точкой, например; руб. коп.

При выполнении курсового проекта возникает необходимость делать ссылки на первоисточник. Ссылка обеспечивает фактическую достоверность сведений о цитируемом документе, представляет необходимую информацию о нем, дает возможность разыскать документ и т.д.

В конце курсового проекта следует указать авторов, название и год издания учебников и других материалов, использованных студентом при подготовке работы.

Графическая часть курсового проекта представлена на одном листе ватмана формата А-1, где должны быть изображены план и разрезы металлического плоского ригельного затвора и контрфорсной железобетонной плотины в масштабе 1:25.

Выполненный в полном объеме курсового проекта представляется лично на проверку, на кафедру природообустройства и водопользования не позднее установленного срока до начала лабораторно-экзаменационной сессии.

Вариант заданий выбирается в соответствии с последней и предпоследней цифрами номера зачетной книжки.

## Задание 1

### Расчет металлического плоского ригельного затвора

Плоские ригельные затворы применяют для перекрытия больших отверстий гидротехнических сооружений. Они состоят из каркаса в виде балочной сети, с обшивкой из листовой стали. На такие затворы действуют статические (гидростатическое давление воды, собственный вес затвора и давление наносов) и динамические (волновое и гидродинамическое давление воды, давление ветра) силы.

Необходимо определить основные параметры плоского ригельного затвора предназначенного для перекрытия водосливного отверстия на плотинном водосбросном сооружении.

При этом требуется выполнить следующее:

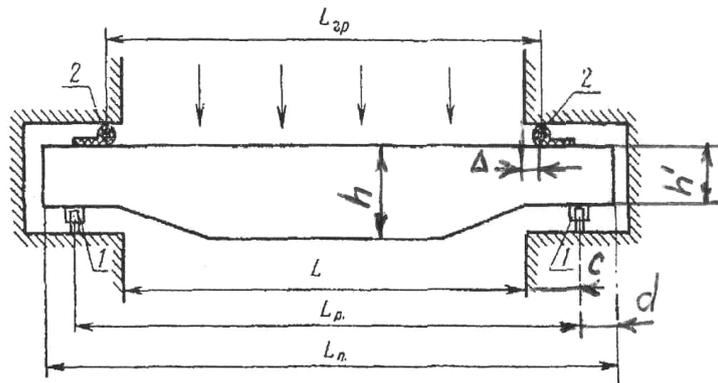
- привести конструктивные схемы исполнения затвора (см. рис. 2.1 и 2.2).
- определить основные геометрические размеры затвора
- подобрать сечение ригелей.
- рассчитать толщину обшивки.
- определить величину подъемного усилия затвора.

Исходные данные:

1. Размеры водосливного отверстия  $H \times L$ , м (принимаются в таблице 1.1 по последней и предпоследней цифрам номера зачетной книжки);
2. Материалы основных элементов конструкции:  
ригель – стальной прокат (двутавр), обшивка – сталь листовая;
3. Прочие особенности конструкции: опорно-ходовая часть- колёсная, боковые уплотнения из профильной резины.

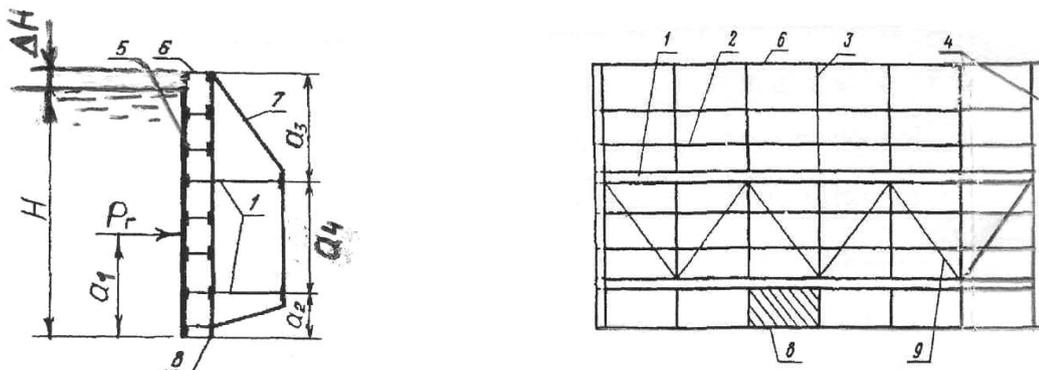
Таблица 1.1- Размеры водосливного отверстия

Размеры пролёта отверстия										
Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L, м	5,0	6,0	7,0	5,0	6,0	7,0	5,0	6,0	7,0	5,0
Размер высоты отверстия										
Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H, м	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0



L – пролёт в свету;  $L_p$  – расчётный пролёт;  $L_n$  – геометрическая (полная) длина затвора;  $L_{гр}$  – грузовой пролёт; 1 – опорно-ходовые части; 2 - боковые уплотнения.

Рис.1.1 Размеры подвижной части затвора



1- ригель; 2 – обрешётин; 3 – стойки; 4 – концевые стойки; 5 – обшивка; 6– верхняя обвязка; 7– поперечные связи; 8– нижняя обвязка; 9- продольные связи.

Рис. 1.2. Составные части пролётного строения плоского двухригельного затвора:

## 1.1 Методические указания по выполнению расчетов

Расчёт ригелей производится на равномерно-распределённую нагрузку при учёте сил гидростатического давления и собственного веса по формулам изгиба балок, свободно опирающихся на две опоры.

Высоту ригеля для предварительной оценки его собственного веса следует принять из расчёта  $\left(\frac{1}{7} - \frac{1}{10}\right)L_p$ , с учётом нормативов по проектированию размеров панелей затвора.

Местоположение ригелей определяется из условия их равнонагруженности относительно равнодействующей силы гидростатического давления.

Расчёт толщины обшивки следует выполнить для наиболее нагруженной панели (заштрихована на рис. 2.2).

При установлении конструкции балочной клетки затвора следует максимально использовать действующие нормативы и практические рекомендации по проектированию подобных затворов.

Типы опорно-ходовой части и бокового уплотнения затвора принимаются студентом самостоятельно.

## 1.2 Определение основных геометрических размеров затвора

### *Плановые размеры затвора*

Схема плановой компоновки затвора показана на рис. 2.1.

Величина расчетного пролёта затвора определяется по формуле

$$L_p = L + 2c, \text{ м} \quad (1.1)$$

где  $L$  – размер отверстия в свету, м;

$c$  – расстояние от края быка до оси опорно-ходовой части, м ( $c = 250 - 300$  мм).

Расстояние между вертикальными боковыми уплотнениями (нагруженный пролёт)

$$L_{гр} = L + 2\Delta, \text{ м} \quad (1.2)$$

где  $\Delta$  - расстояние от края быка до уплотнения, м ( $\Delta = 75 - 100$  мм).

Полная длина затвора

$$L_{п} = L_{р} + 2d, \text{ м} \quad (1.3)$$

где  $d$  – расстояние от оси опорно-ходовой части до затвора, м ( $d = 100-150$  мм)

### *Вертикальные размеры затвора*

Высота нагруженной части затвора для поверхностных затворов составляет

$$H_{н} = H.$$

Полная высота затвора

$$h_{п} = H_{н} + \Delta H, \text{ м} \quad (1.4)$$

где  $\Delta H$  – запас под уровнем воды, устанавливаемый в зависимости от условий работы ( $\Delta H = 0,2 - 0,4$  м).

Расстояние от нижней кромки затвора до нижнего ригеля

$$a_2 = (0,12 - 0,2)H, \text{ м} \quad (1.5)$$

Величина  $a_2$  назначается в пределах: для колёсных затворов 0,6-1,2 м; для скользящих затворов 0,5 – 0,6 м.

Расстояние между ригелями

$$a_4 = 2(a_1 - a_2), \text{ м} \quad (1.6)$$

где  $a_1$  – расстояние от нижней кромки затвора до уровня приложения равнодействующей силы гидростатического давления, которое составляет

$$a_1 = \frac{1}{3}H, \text{ м} \quad (1.7)$$

Расстояние от верхней кромки затвора до верхнего ригеля

$$a_3 = h_{п} - (a_4 - a_2), \text{ м} \quad (1.8)$$

## *Определение размеров панелей затвора*

Расчётная длина панели

$$b = \frac{L_n}{N_n}, \text{ м} \quad (1.9)$$

где  $N_n$  - количество панелей по длине затвора, шт.

При назначении количества панелей необходимо иметь ввиду выполнение условия:  $h \leq b \leq 2h$ ,

где  $h$  – высота ригеля.

В затворах рассматриваемых размеров рекомендуется принимать

$N_n = 4-8$  шт.

Обязательным является условие их чётного количества.

Размеры панелей по высоте могут быть различными, назначаются конструктивно в зависимости от расположения ригелей и вспомогательных балок (внутри – двутавровые, снаружи – обычно швеллеры).

Ширина нижней, наиболее загруженной панели может быть принята:  $a = a_2$

### **1.3 Пример расчёта основных геометрических размеров затвора**

#### *Плановые размеры затвора*

Исходные расчётные показатели:  $H = 5$  м,  $L = 6$  м, затвор колёсный, ригель – из прокатного двутаврового профиля.

Схема плановой компоновки затвора показана на рис. 2.

Величина расчетного пролёта затвора определяется по формуле

$$L_p = L + 2c = 6 + 2 \times 0,25 = 6,5 \text{ м}$$

Расстояние между вертикальными боковыми уплотнениями (нагруженный пролёт)

$$L_{гр} = L + 2\Delta = 6,0 + 2 \times 0,1 = 6,2 \text{ м}$$

Полная длина затвора

$$L_{\text{п}} = 6,5 + 2 \times 0,1 = 6,7 \text{ м}$$

*Вертикальные размеры затвора*

Высота нагруженной части затвора для поверхностных затворов составляет

$$H_{\text{н}} = H = 5,0 \text{ м.}$$

Полная высота затвора

$$h_{\text{п}} = H_{\text{н}} + \Delta H = 5,0 + 0,3 = 5,3 \text{ м}$$

Расстояние от нижней кромки затвора до нижнего ригеля

$$a_2 = (0,12 - 0,2)H = 0,12 \times 5 \dots 0,2 \times 5,0 = 0,6 \dots 1,0 \text{ м}$$

Принимаем  $a_2 = 0,6 \text{ м}$  (для колёсных затворов  $a_2 = 0,6 \dots 1,0 \text{ м}$ )

Расстояние между ригелями

$$a_4 = 2(a_1 - a_2) = 2(1,67 - 0,6) = 2,13 \text{ м,}$$

$$\text{(принято } a_4 = 2,2 \text{ м)}$$

$$\text{где } a_1 = \frac{1}{3}H = \frac{1}{3} \times 5 = 1,67 \text{ м}$$

Расстояние от верхней кромки затвора до верхнего ригеля

$$a_3 = h_{\text{п}} - (a_4 - a_2) = 5,3 - (2,2 + 0,6) = 2,5 \text{ м}$$

*Определение размеров панелей затвора*

Ширину нижних, наиболее нагруженных панелей принимаем  $a = a_2 = 0,6 \text{ м}$ .

Расчётная длина панели

$$b = \frac{L_{\text{п}}}{N_{\text{п}}} = \frac{6,7}{6} = 1,116 \text{ м}$$

где  $N_{\text{п}} = 6 \text{ шт.}$  Принимаем  $b = 1,12 \text{ м}$

Уточняем полную длину затвора

$$L_{\text{п}} = 1,12 \times 6 = 6,72 \text{ м}$$

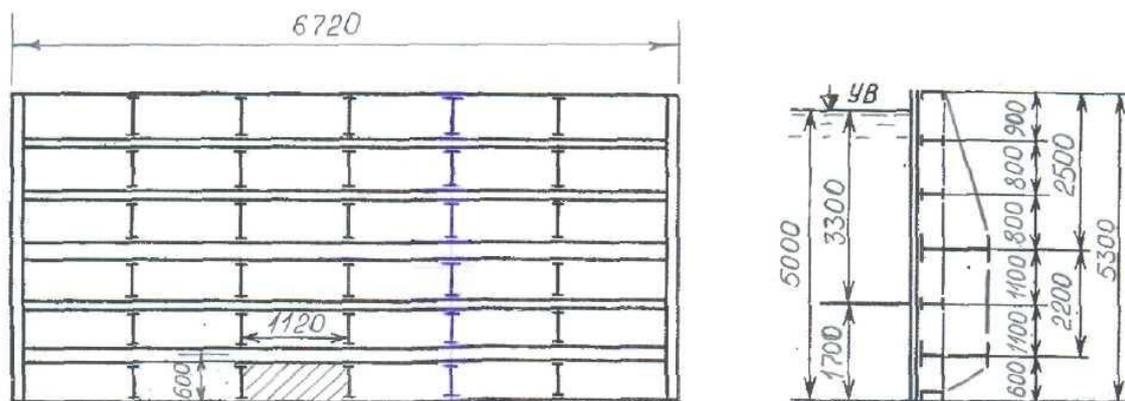


Рис. 1.3 Конструктивная схема исполнения плоского двухригельного затвора

## 1.4 Расчёт ригеля

### Установление высоты ригеля

Высота ригеля ( $h$ ) должна находиться в пределах  $h = \left(\frac{1}{7} - \frac{1}{10}\right)L_p$ .

При назначении высоты ригеля и толщины обшивки ( $t$ ) могут быть использованы нормативные условия для проектирования размеров панелей ( $a \times b$ )

$$h \leq b \leq 2h, \quad (1.10)$$

$$a \leq (50-60)t, \quad (1.11)$$

$$\frac{a}{b} \leq \frac{1}{2}, \quad (1.12)$$

Минимальная толщина обшивки из листовой стали, принимаемая на практике, 6 – 8 мм. Обшивку покрывают антикоррозийным составом или масляной краской. Исходя из этих условий, предварительно назначается высота ригеля и толщина обшивки, которые в дальнейшем подтверждаются прочностными расчетами. В противном случае необходимо корректировать вышеуказанные параметры, либо усиливать конструкцию дополнительными элементами.

Высота ригеля на опоре (см. рис. 2.4) принимается из расчёта

$$h' = (0.4 - 0.65) h.$$



### *Расчёт сечения ригеля*

Расчёт сечения ригеля в условиях данного практического задания сводится к проверке принятого сечения из прокатного профиля (двутавра):

- на прочность по нормальным напряжениям при изгибе;
- на жёсткость при изгибе по допустимому прогибу.

Расчёт ригеля производится на равномерно-распределённую нагрузку с учётом сил гидростатического давления воды и влияния собственного веса по формулам изгиба балки, свободно опирающейся на две опоры (см. рис. 4 б)

При расчёте сечений двухригельных затворов влияние собственного веса на усилия в поясах ригелей рекомендуется принимать 10% от усилий, вызываемых гидростатической нагрузкой.

Подбор сечения ригеля производится по требуемому моменту сопротивления сечения

$$[W] = \frac{M}{R_y \times K_c}, \text{ м}^3 \quad (1.13)$$

где  $M$  – максимальный изгибающий момент (посредине пролёта), н\*м;

$R_y$  – нормативное сопротивление стали, Па;

$K_c$  – коэффициент, учитывающий условия работы.

Должно выполняться условие

$$W_x > [W]$$

где  $W_x$  – момент сопротивления расчётного сечения, м<sup>3</sup>.

Максимальный прогиб ригеля (посредине) определяется в данном случае по формуле

$$f_m = \frac{5}{48} \frac{M \times L_p^2}{E \times I_x}, \text{ м} \quad (1.14)$$

где  $L_h$  – размер расчётного пролёта;

$M$  – максимальный изгибающий момент, н\*м;

$E = (2,0-2,1) \cdot 10^5$  МПа.– модуль упругости для углеродистой стали;

$I_x$  - осевой момент инерции расчетного сечения, м<sup>4</sup>;

Должно выполняться условие

$$\frac{f_m}{L_p} < \left[ \frac{f}{L_p} \right] \quad (1.15)$$

где  $\left[ \frac{f}{L_p} \right]$  - допускаемый (нормативный) относительный прогиб, для ригелей

основных и аварийных затворов, работающих под статической нагрузкой

$$\left[ \frac{f}{L_p} \right] = \frac{1}{500}.$$

*Определение расчётных нагрузок на ригель*

Полная равномерно-распределённая нагрузка

$$q = q_1 + q_2 \quad (1.16)$$

где  $q = \frac{P_p}{L_{rp}}$  - нагрузка от гидростатического давления, кН/м;

$q_2 = 0,1 q_1$  нагрузка от влияния собственного веса, кН/м;

$P_p = \frac{P_r}{2}$  - сила гидростатического давления на один ригель (из условия

равнонагруженности двух ригелей)

$P_r$  – сила гидростатического давления на затвор

$$P_r = \rho g h_{\text{цт}} \omega, \text{ кН} \quad (1.17)$$

где  $h_{\text{цт}}$  напор воды над центром тяжести нагруженной площади затвора,

$h_{\text{цт}} = H/2$ , м;

$\omega$  – площадь части затвора нагруженной гидростатическим давлением воды,  $\omega = H \times L_{rp}$ , м<sup>2</sup>.

При установлении расчётного сечения ригеля следует иметь ввиду, что в состав напорного пояса рекомендуется включать часть примыкающей обшивки со свесами (см. рис. 2.3 а), которые определяются по формуле

$$a'_t = 0,65t \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (1.18)$$

где  $t$  – толщина обшивки, мм;

$R_y$  - расчётное сопротивление стали, МПа (см. табл. 4.1);

$E$  – модуль упругости стали, МПа.

Размер стальной полосы в состав расчётного сечения будет равен

$$a_t = v_d + 2 a'_t \quad (1.19)$$

$v_d$  ширина полки двутавра, мм.

Ввиду того, что расчётное сечение ригеля будет представлять собой составное сечение, необходимо произвести расчёт некоторых его геометрических характеристик, используя формулы из курса сопротивления материалов, а именно:

- местоположение центра тяжести сечения ( $y_0$ ), т.е. положение главной оси ( $x$ );
- осевой момент инерции ( $I_x$ );
- момент сопротивления сечения ( $W_x$ ).

#### *Расчёт обшивки затвора*

Расчёт обшивки необходимо произвести для наиболее загруженной панели затвора (рис 2.4 -заштрихована).

Расчёт заключается в проверке назначенной ранее толщины обшивки ( $t$ ) для запроектированных размеров панели ( $a \times v$ ).

Расчётная схема обшивки представляет собой удлиненную пластину, упруго защемлённую по длинным сторонам (см. рис. 2.5 б). расчёт такой пластины производится путём выделения из неё полосы единичной ширины, в результате чего получается вертикально расположенная упруго защемлённая балка пролётом ( $l_p$ ). В основе расчёта лежит методика расчёта по предельной нагрузке, когда балка считается шарнирно опёртой и к которой на опорах приложены постоянные моменты (см. рис. 5 в).

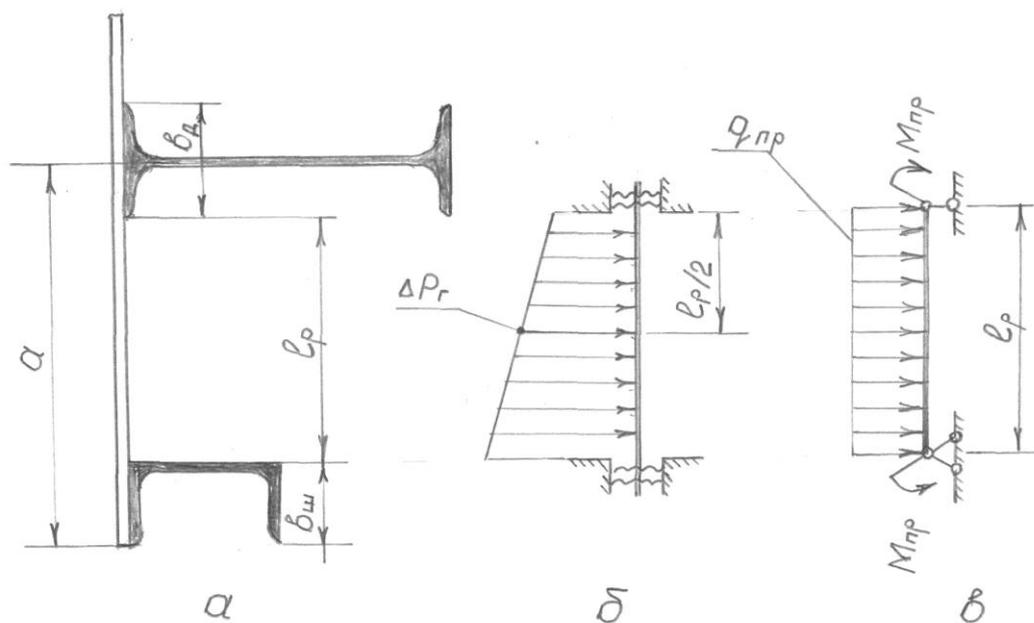


Рис. 1.5 Схемы к расчёту обшивки:

а – схема расчётной панели; б и в – расчётные схемы обшивки.

Должно выполняться условие

$$l_p > [l_p]$$

$l_p$  – запроектированный размер расчётного пролёта панели, который в данном случае будет равен

$$l_p = a - \frac{b_d}{2} - b_{ш} \quad (1.20)$$

где  $b_d$  – ширина полки двутавра ригеля, м;

$b_{ш}$  – ширина полки швеллера нижней обвязки, м;

$[l_p]$  – допускаемый размер из условия прочности, определяемый по формуле

$$[l_p] = 1,63t \sqrt{\frac{R_{y(u)}}{\Delta P_{Г}}}, \text{ м} \quad (1.21)$$

где  $t$  – толщина обшивки, м;

$R_{y(u)}$  – расчётное сопротивление при изгибе листовой стали, Па (см. табл.4.1);

$\Delta P_{Г}$  – гидростатическое давление по середине пролёта панели, Па.

В случаях невыполнения вышеуказанного условия, рекомендуется добавлять вспомогательные балки, а не увеличивать толщину обшивки.

## 1.5 Пример расчёта основных геометрических размеров затвора

*Определение высоты ригеля и толщины обшивки*

Исходя из нормативных условий для проектирования размеров панелей затвора

$$h \leq b \leq 2h,$$

$$a \leq (50-60)t,$$

$$\frac{a}{b} \leq \frac{1}{2},$$

$$h = \left( \frac{1}{7} - \frac{1}{10} \right) L_p$$

и назначенных размеров панелей ( $a \times b$ ) = 0,6×1,12 м, получаем

$$\frac{a}{b} = \frac{0.6}{1.12} \leq \frac{1}{2},$$

$$t \geq \frac{a}{50 \dots 60} = \frac{600}{50} \dots \frac{6000}{60} = 12 \dots 10 \text{ мм}$$

Принимаем  $t = 10$  мм.

$$h \geq \frac{b}{2} = \frac{1,12}{2} = 0,56 \text{ м}$$

Принимаем двутавр № 60 с высотой  $h = 600$  мм.

Конструктивная схема исполнения затвора представлена на рис. 3. Для исполнения балочной клетки принимаем:

- двутавры № 20 в качестве вспомогательных балок (стрингеров);
- швеллеры № 20 в качестве опорно-концевых стоек, верхней и нижней обвязок.

### Расчёт геометрических характеристик сечения ригеля

Исходные показатели:  $H = 5$  м;  $L_p = 6,5$  м;  $L_{гр} = 6,2$  м;  $t = 10$  мм; прокатный профиль ригеля – двутавр № 60 (по сортаменту:  $h_d \times v_d \times d_d = 600 \times 190 \times 12$  мм,  $A_1 = 138$  см<sup>2</sup>,  $I_{x1} = 76806$  см<sup>4</sup>).

Расчётная схема исполнения затвора представлена на рис. 2.4

При установлении расчётного сечения ригеля следует включать часть примыкающей обшивки со свесами

$$a'_t = 0,65t \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 0,65 \times 10 \sqrt{\frac{2,06 \times 10^5}{215}} = 201 \text{ мм}$$

где  $R_y = 215$  МПа (см. приложение 1, сталь 16Д);

$E = 2,06 \times 10^5$  МПа.

Принимаем  $a'_t = 200$  мм.

Размер стальной полосы в составе расчётного сечения будет равен

$$a_t = v_d + 2 a'_t = 190 + 2 \times 200 = 590 \text{ мм.}$$

Местоположение центра тяжести составного сечения

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2}{A_1 + A_2} = \frac{138 \times 0 + 59 \times 30,5}{138 + 59,0} = 9,1 \text{ см}$$

где  $A_2 = a_t \times t = 59 \times 1 = 59$  см<sup>2</sup>;  $y_1 = 0$ ;

$$y_2 = \frac{h_d}{2} + \frac{t}{2} = 0,5 \times 60 + 0,5 \times 1 = 30,5 \text{ см}$$

Осейвой момент инерции относительно оси (x)

$$I_x = I_{x1} + a_1^2 \times A_1 + I_{x2} + a_2^2 \times A_2$$

$$I_x = 76806 + (9,1)^2 \times 138 + 4,9 + (21,4)^2 \times 59 = 115259 \text{ см}^4$$

где  $a_1 = y_0 = 9,1$  см<sup>2</sup>;

$$a_2 = 0,5h_d - a_1 + 0,5t = 0,5 \times 60 - 9,1 + 0,5 \times 1 = 21,4 \text{ см;}$$

$$I_{x2} = \frac{a_t \times t^3}{12} = \frac{59 \times 1,0^3}{12} = 5 \text{ см}^4$$

Момент сопротивления сечения относительно оси (х)

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{115259}{39,1} = 2948 \text{ см}^2$$

где  $y_{\max} = 0,5 \times h_D + y_0 = 0,5 \times 60 + 9,1 = 39,1$  см.

*Определение расчётных нагрузок на затвор*

Сила гидростатического давления на затвор составит

$$P_r = p \times \omega = 24525 \times 31 = 760275 \text{ Н}$$

где  $p$  – гидростатическое давление воды на уровне центра тяжести нагруженной площади, определяется по формуле

$$p = \rho \times g \times H_{\text{цт}} = \rho \times g \times \frac{H}{2} = 1000 \times 9,81 \times \frac{5}{2} = 24525 \text{ Па}$$

$\omega$  – площадь нагруженной части затвора

$$\omega = L_{\text{гр}} \times H = 6,2 \times 5,0 = 31 \text{ м}^2$$

Из условия равнонагруженности гидростатическая нагрузка на один ригель будет равна

$$P_p = P_r / 2 = 760,3 / 2 = 380,15 \text{ кН}$$

Величина равномерно распределённой нагрузки:

- от гидростатического давления

$$q_1 = \frac{P_p}{L_{\text{гр}}} = \frac{380,15}{6,2} = 61,3 \text{ кН/м}$$

- от влияния веса затвора

$$q_2 = 0,1q_1 = 0,1 \times 61,3 = 6,13 \text{ кН/м}$$

- расчётная величина

$$q = 61,3 + 6,13 = 67,43 \text{ кН/м}$$

Опорные реакции ригеля

$$R_A = R_B = q L_{\text{гр}} / 2 = 67,43 \times 6,2 / 2 = 209,03 \text{ кН}$$

Максимальный изгибающий момент в расчётном сечении ригеля (по середине пролёта)

$$M = R_A \times \frac{L_p}{2} - q \frac{L_{\text{гр}}^2}{8} = 209,03 \times 6,5 / 2 - 67,43 \times (6,2)^2 / 8 = 355,35 \text{ кН*м}$$

### *Проверка сечения ригеля на прочность*

Требуемый момент сопротивления сечения

$$[W] = \frac{M}{R_y \times K_c} = \frac{M}{R_{y(u)}} \frac{355,35 \times 10^3}{163 \times 10^6} = 0,00218 \text{ м}^3 = 2180 \text{ см}^3$$

где М максимальный изгибающий момент (посредине пролёта), н\*м;

$R_{y(u)} = 163 \text{ МПа}$  – расчётное сопротивление стали на изгиб с учётом условий работы затвора (см приложение 1);

Сравниваем полученный расчётный результат  $[W] = 2180 \text{ см}^3$  с моментом сопротивления принятого ранее сечения ригеля  $W_x = 2948 \text{ см}^3$

Условие прочности  $W_x > [W]$  выполняется с некоторым запасом.

### *Проверка ригеля на прогиб*

Максимальный прогиб ригеля (посредине) определяется в данном случае по формуле

$$f_m = \frac{5}{48} \frac{M \times L_p^2}{E \times I_x} = \frac{5}{48} \times \frac{355,35 \times 10^3 \times 6,5^2}{2,06 \times 10^5 \times 10^6 \times 115259 \times 10^{-8}} = 0,0066 \text{ м}$$

Сравним относительный прогиб ригеля с допустимым  $\left[ \frac{f}{L_p} \right] = \frac{1}{500}$ , полу-

чим

$$\frac{f_m}{L_p} = \frac{0,0066}{6,5} = \frac{1}{985} < \frac{1}{500},$$

Следовательно прочность ригеля на жёсткость будет обеспечиваться с определённым запасом.

### *Расчёт обшивки затвора*

Расчёт заключается в проверке назначенной ранее толщины обшивки (t) для запроектированных размеров панели (а×в).

Исходные показатели: t = 10 мм; а×в = 0,6×1,12 м;

вд = 190 мм (двутавр № 60); вш = 76 мм (швеллер № 20); Н = 5,0 м.

Величина расчётного пролёта панели будет

$$l_p = a - v_d / 2 - v_{ш} = 0,6 - 0,5 \times 0,19 - 0,076 = 0,43 \text{ м}$$

Допускаемый размер из условия прочности, определяемый по формуле

$$[l_p] = 1,63t \sqrt{\frac{R_{y(u)}}{\Delta P_{\Gamma}}} = 1,63 \times 0,01 \sqrt{\frac{163 \times 10^6}{48069}} = 0,95 \text{ м}$$

где  $\Delta P_{\Gamma}$  – гидростатическое давление в центре панели, Па.

$$\Delta P_{\Gamma} = \rho \times g \times h_{\text{цт}} = 1000 \times 9,81 \times 4,9 = 48069 \text{ Па}$$

Напор в центре расчётной панели

$$h_{\text{цт}} = H - \frac{l_p}{2} - v_{ш} = 5,0 - \frac{0,43}{2} - 0,076 = 4,9 \text{ м}$$

$R_{y(u)} = 163 \text{ МПа}$  - расчётное сопротивление при изгибе листовой стали, с учётом условий работы затвора (см. приложение 1).

Сравнив полученные результаты,  $l_p = 0,43 \text{ м} < [l_p] = 0,95 \text{ м}$ ,

видим что требуемое условие  $l_p < [l_p]$  выполняется

В случаях невыполнения вышеуказанного условия, рекомендуется добавлять вспомогательные балки, а не увеличивать толщину обшивки.

## 1. 6 Расчёт подъемного усилия

Подъемное усилие затвора ( $S$ ) направлено на преодоление следующих основных нагрузок

$$S = G + F_T + P_B \quad (1.22)$$

где  $P_B$  – дополнительное усилие, могущее возникнуть при подъёме затвора вследствие воздействия вакуума.

При наличии конструктивных элементов по срыву вакуума в расчётах принимается  $P_B = 0$ .

$G$  – собственный вес затвора, определяемый в предварительных расчётах по специальным формулам или графикам в зависимости от размеров водосливного отверстия в свету  $H \times L$ , т.е.

$$G = \Delta G \times H \times L, \text{ кН} \quad (1.23)$$

Для определения единичного веса широко используются формулы А.П.

Цветкова:

- для скользящего затвора

$$G = 60g\sqrt[3]{H_{цГ} \times L^2} - 1,4, \text{ н/м} \quad (1.24)$$

- для колёсного затвора

$$G = 64g\sqrt[3]{H_{цГ} \times L^2} - 1,0, \text{ н/м} \quad (1.25)$$

где  $H_{цГ}$  – напор над центром водосливного отверстия,  $H_{цГ} = H/2$

$F_T$  – сила трения, возникающая в подвижных элементах затвора (ходовые части, боковые уплотнения):

- - для скользящего затвора

$$F_T = F_{Tc} = f \times P_{Г}, \text{ кН} \quad (1.25)$$

- для колёсного затвора

$$F_T = F_{Tc} + F_{Tck}, \text{ кН} \quad (1.26)$$

где  $F_{Tc}$  – сила трения скольжения в боковых уплотнениях затвора, определяемая по формуле (с учётом наличия двух уплотнений)

$$F_{Tc} = 2f_y \times P_y = \rho g H^2 \times v_y \times f_y, \text{ н} \quad (1.27)$$

где  $v_y$  - ширина уплотнения, подвергающаяся гидростатическому давлению воды (в расчёте можно принять  $v_y = 0,2-0,3$  м);

$f_y$  – коэффициент трения скольжения в уплотнениях (см. приложение 2);

$F_{Tck}$  – сила трения скольжения и качения в ходовых частях затвора, определяемая по формуле

$$F_{Tck} = P_{Г} \frac{f_y \times r + f_k}{R} \quad (1.28)$$

где  $f_y$  - – коэффициент трения скольжения в уплотнениях (см. табл. 4.4);

$f_k$  – коэффициент трения качения (плечо силы трения, для металлических колёс затворов  $f_k = 0,05-0,1$  см);

$r$  – радиус втулки колеса затвора (в данном расчёте можно принять  $r = 3$  см)

$R$  – радиус колеса затвора, определяемый из условия прочности по формуле

$$R = \frac{P_k}{2\sigma_0[\sigma]}, \text{ м} \quad (1.29)$$

где  $P_k$  – нагрузка от гидростатического давления на одно колесо (для четырёхколёсного затвора  $P_k = P_{\Gamma}/4$ );

$b_0$  – ширина обода колеса (в расчёте можно принять  $b_0 = 7-10$  см)

$[\sigma]$  – допустимое напряжение на раздробление, для стальных затворов

$[\sigma] = 7-8$  МПа.

Подъемное усилие затвора с учётом запаса

$$S' = K_3 \times S, \text{ кН}$$

$K_3$  – коэффициент запаса (для скользящих и колёсных затворов рекомендуется принимать  $K_3 = 1,1-1,2$ ).

### 1.7 Пример расчёта подъемного усилия затвора

Исходные показатели: затвор 4-х колесный ( $r = 3$  см,  $f_k = 0,1$  см,  $b_0 = 8$  см,  $b_y = 0,2$  м);  $H \times L = 5 \times 6$  м;  $P_{\Gamma} = 760,3$  кН.

Подъемное усилие затвора ( $S$ ) направлено на преодоление следующих основных нагрузок

$$S = G + F_T + P_B$$

где  $P_B$  – дополнительное усилие, могущее возникнуть при подъёме затвора вследствие воздействия вакуума, в расчётах принимается  $P_B = 0$ .

$G$  – собственный вес затвора, определяемый в предварительных расчётах по формуле А.П. Цветкова:

$$G = 64g (\sqrt[3]{H_{yT} \times L^2} - 1) \times H \times L, \text{ н/м}$$

$$G = 64 \times 9,81 (\sqrt[3]{2,5 \times 6^2} - 1) \times 5 \times 6 = 65,6 \text{ кН,}$$

где  $H_{цГ}$  – напор под центром водосливного отверстия,  $H_{цГ} = H/2 = 5/2 = 2,5\text{м}$ ;

$f_y$  – коэффициент трения скольжения в уплотнениях (см. табл. 4.4);

Величина подъёмного усилия на преодоление сопротивления ходовых частей, определяемая по формуле

$$F_{тск} = P_{Г} \frac{f_y \times r + f_k}{R} = 760,3 \times \frac{0,5 \times 3 + 0,1}{15} = 81,1 \text{ кН}$$

где  $f = 0,5$  – коэффициент трения стали по стали (см. приложение 2).

$R$  – радиус колеса затвора, определяемый из условия прочности по формуле

$$R = \frac{P_k}{2e_0[\sigma]} = \frac{190,1 \times 10^3}{2 \times 0,08 \times 8 \times 10^6} = 0,15\text{м}$$

где  $P_k$  – нагрузка от гидростатического давления на одно колесо (для четырёх-колёсного затвора  $P_k = P_{Г}/4 = 760,3/4 = 190,1 \text{ кН}$ );

$v_0$  – ширина обвода колеса (в расчёте принимаем  $v_0 = 0,8\text{м}$ )

$[\sigma]$  - допустимое напряжение на раздробление, для стальных затворов

$[\sigma] = 8 \text{ МПа}$ .

Сила трения скольжения в боковых уплотнениях затвора

$$F_{тс} = \rho g H^2 \times v_y \times f = 1000 \times 9,81 \times 5^2 \times 0,2 \times 0,8 = 39240 \text{ Н} = 39,2 \text{ кН}$$

$F = 0,8$  (см приложение 2)

Подъёмное усилие затвора ( $S$ ), направленное на преодоление основных нагрузок

$$S = G + F_T + P_B = 65,6 + 81,1 + 39,2 = 185,9 \text{ кН}$$

Подъёмное усилие затвора с учётом запаса

$$S' = K_3 \times S = 1,15 \times 185,9 = 213,8 \text{ кНкН}$$

$K_3$  – коэффициент запаса (для скользящих и колёсных затворов рекомендуется принимать  $K_3 = 1,15$ ).

## Задание 2

### Расчёт на прочность и устойчивость контрфорсной железобетонной плотины

Контрфорсными называются плотины, основными элементами которых являются напорные перекрытия, перегораживающие водоток и вертикальные рёбра – контрфорсы, на которые эти перекрытия опираются.

У таких плотин меньший объём бетона и меньшее продавливание в основании по сравнению с гравитационными плотинами, но большой расход арматуры и высокий класс бетона в плотинах с плоскими перекрытиями.

Для контрфорсной водохранилищной плотины на скальном основании с плоскими напорными перекрытиями (рис. 6) необходимо рассчитать на прочность напорную плиту и устойчивость контрфорса на сдвиг, при этом требуется выполнить следующее:

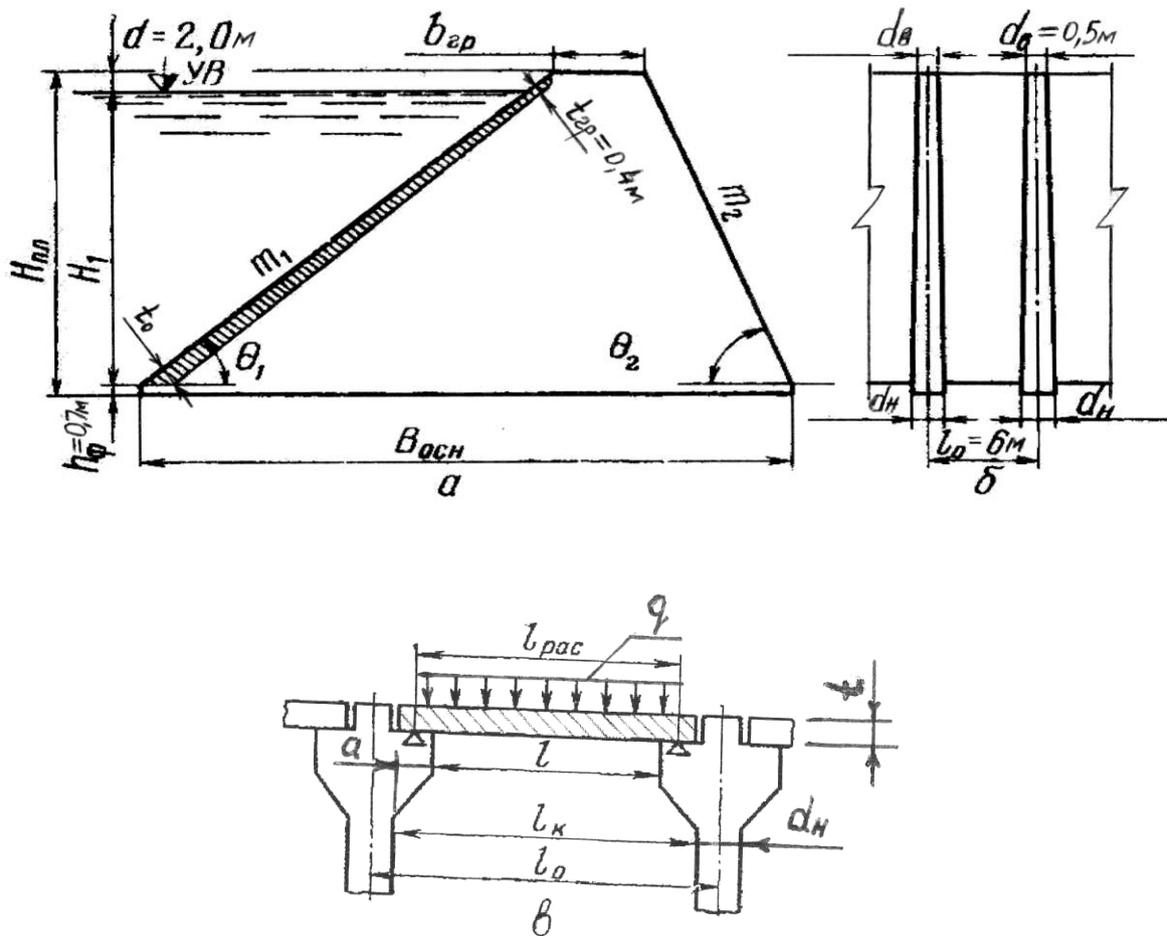
1. Привести расчётную схему плотины в соответствии со схемой, представленной на рис.2.1
2. Установить основные размеры плотины в соответствии со схемой представленной на рис. 2.1
3. Рассчитать толщину напорной плиты и подобрать арматуру.
4. Произвести расчёт устойчивости контрфорса.

Исходные данные:

- Глубина воды в верхнем бьефе  $H_1$ (табл.2.1);
- углы наклона напорной и низовой граней контрфорса соответственно  $\Theta_1, \Theta_2$  (табл.2.1);
- материалы основных элементов конструкции: бетон марки М300, арматура из стали класса А –I;
- прочие недостающие размеры следует смотреть на схеме (рис. 6).

Таблица 2.1 – Исходные параметры к расчёту контрфорсной плотины

Глубина воды в верхнем бьефе										
Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_1$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40
Углы наклона граней контрфорса										
Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\theta_1$ , град	50	50	50	55	55	60	60	60	65	65
$\theta_2$ , град	65	70	75	65	75	70	75	80	80	80



а – боковой вид контрфорса; б – фасад контрфорса;  
в - плановый фрагмент одного пролёта

Рис. 2.1. Схемы к расчёту контрфорсной плотины

## 2.1 Методические указания по выполнению расчетов

Недостающие размеры контрфорса следует установить на основе действующих нормативов и практических рекомендаций.

Толщина и армирование плиты рассчитываются по формулам изгиба балок, свободно лежащих на двух опорах. Рассматривается наиболее нагруженный участок плиты высотой 1 м, расположенный у основания плотины.

Для определения собственного веса напорной плиты её толщина назначается предварительно на основе практических рекомендаций.

Для упрощения расчёта весом выступающих частей в оголовке контрфорса можно пренебречь ввиду их незначительности и увеличения запаса устойчивости.

Нормативный коэффициент запаса по устойчивости  $[K_c]$  следует принять равным 1,2 как для бетона плотны II класса капитальности.

## 2.2 Расчёт напорной плиты контрфорсной плотины

### *Определение размеров элементов плотины*

Расстояние между контрфорсами по осям ( $l_0$ ), толщину напорной плиты ( $t$ ), толщину контрфорса внизу ( $d$ ), размер заплечика оголовка контрфорса ( $a$ ) в учебных целях можно принять в зависимости от расчётного напора. При ( $H_1 = 20-40$  м) соответственно:

$l_0 = 7-8$  м;  $t = 0,75-0,95$  м;  $d = 1,3-2,0$  м;  $a = 0,35-0,6$  м.

Из условия одностороннего проезда по гребню ширина контрфорса вверху составит  $v_{гр} = 4,5$  м.

Пролёт в свету между контрфорсами

$$l = l_0 - d_n - 2a, \text{ м} \quad (2.1)$$

Длина расчётного участка плиты, согласно действующему нормативу, определяется по формуле

$$l_{расч} = l + \frac{2}{3} t, \text{ м} \quad (2.2)$$

Высота плотины (контрфорса)

$$H_{пл} = H_1 + d + h_{ф}, \text{ м} \quad (2.3)$$

Длина верхового откоса контрфорса

$$L_k = H_{пл} / \sin \theta_1, \text{ м} \quad (2.4)$$

Размер контрфорса в основании плотины

$$B_{\text{осн}} = B_{\text{гр}} + H_{\text{пл}}(m_1 + m_2), \text{ м} \quad (2.5)$$

*Определение расчётных нагрузок*

Удельные (равно-распределённые) нагрузки (см. рис. 2.7) на 1 п.м. плотины:

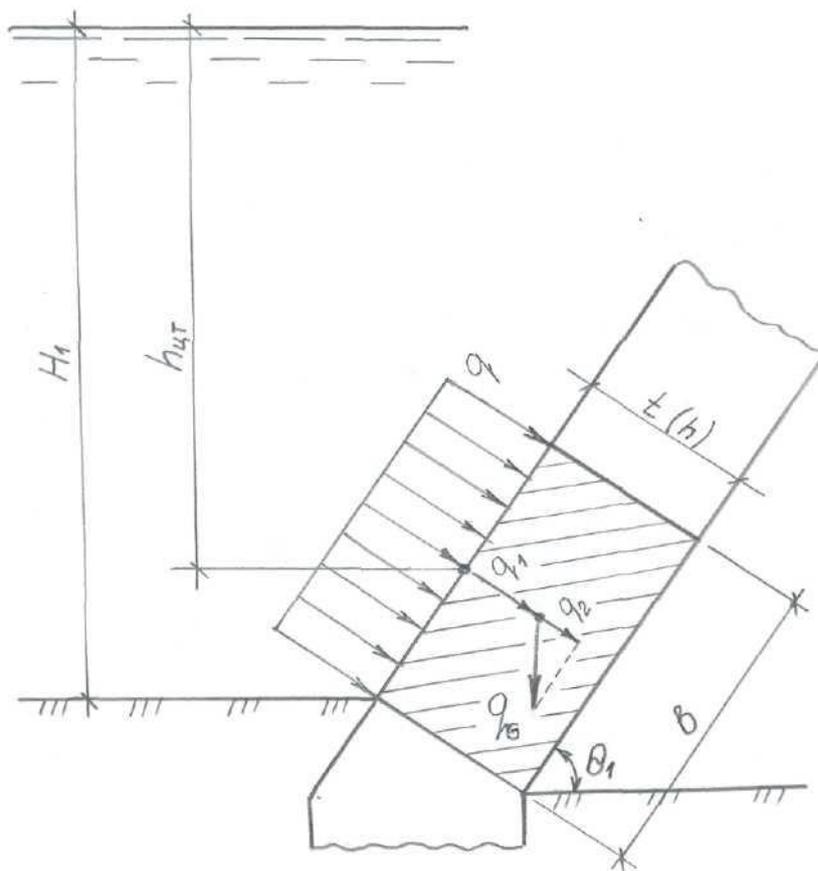


Рис. 2.2 Схема к определению нагрузок на напорную плиту плотины

- от гидростатического давления

$$q_1 = \rho g h_{\text{дг}} b, \text{ Н/м} \quad (2.6)$$

- от собственного веса (нормальная составляющая)

$$q_2 = \gamma_6 t \text{ в } \cos \Theta_1, \text{ кН/м} \quad (2.7)$$

где  $\Theta_1$  – угол верхового откоса плотины, град;

$\gamma_6$  – удельный вес бетона (в расчёте можно принять  $\gamma_6 = 24\text{-}25 \text{ кН/м}^3$ )

- полная удельная нагрузка

$$q = q_1 + q_2, \text{ кН} \quad (2.8)$$

Максимальный изгибающий момент (посредине пролёта) определяется по формуле

$$M = \frac{q \times l_{расч}^2}{8}, \text{ кН*м} \quad (2.9)$$

### *Расчёт напорной плиты*

Требуется произвести расчёт для наиболее нагруженного участка напорной плиты, расположенного в основании плотины, с размером по ширине  $b = 1,0$  м.

Расчёт производится на 1 п.м. длины плотины ( $\Delta l = 1,0$  м).

Дополнительной нагрузкой от взвешенных в воде частиц грунта (заиливание мёртвого объема в процессе эксплуатации) можно пренебречь.

Расчётная схема напорной плиты на прочность представляет собой балку, свободно опирающуюся на две опоры (см. рис. 2.2 в). Расчёт производится по формулам прямого изгиба железобетонных конструкций прямоугольного сечения с одиночной арматурой.

### *Расчёт толщины напорной плиты*

В основе расчёта лежит выполнение двух условий:

$$h_0 \leq t_0 \text{ и } \xi \leq [\xi_R] \quad (2.10)$$

где  $h_0$  – расчётная ширина (толщина) изгибаемого элемента м;

$t_0$  – расчётная толщина плиты, м;

$$t_0 = t - \Delta t, \text{ м} \quad (2.11)$$

$t$  – предварительно принятая толщина плиты;

$\Delta t$  -толщина защитного слоя в зависимости от конструктивно-производственных условий ( $\Delta t = 3 - 5$  см);

$\xi$  – относительная высота сжатой зоны бетона, м

$$\xi = \frac{x}{h_0} \quad (2.12)$$

$x$  – высота сжатой зоны бетона, м

$\xi_R$  – допустимая (граничная) высота сжатой зоны

$$\xi_R = \frac{W}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{SC(U)}} \times \left(1 - \frac{W}{1.1}\right)} \quad (2.13)$$

$W$  – характеристика сжатой зоны;

$$W = \alpha - 0,008R_{\sigma} \quad (2.14)$$

$\alpha$  – коэффициент, принимаемый для тяжёлого бетона  $\alpha = 0,85$ ;

$R_{\sigma}$  – нормативное сопротивление бетона на сжатие, МПа (см. прилож. 5);

$\sigma_{SR}$  – предварительное напряжение арматуры, в данном случае  $\sigma_{Sp} = 0$ ;

$$\sigma_{SR} = R_S - \sigma_{Sp} \text{ (для арматуры классов А- I – А -III), МПа}$$

$R_S$  – нормативное сопротивление бетона на сжатие, МПа (см. прилож.6);

$\sigma_{SC(U)}$  – предельное напряжение арматуры сжатой зоны (при коэффициенте условий работы бетона  $K \geq 1$  -  $\sigma_{SR(U)} = 400$  МПа.

Рабочая высота сечения (толщина плиты) определяется по формуле

$$h_0 = \sqrt{\frac{M}{A_0 \times \sigma \times R'_{\sigma}}} \quad (2.15)$$

$$R'_{\sigma} = R_{\sigma} / K_3 \quad (2.16)$$

где  $R_{\sigma}$  – нормативное сопротивление бетона на сжатие с учётом коэффициента запаса (см. приложение 9);

$A_0$  - параметр определяемый по специальным таблицам методики расчёта железобетонных конструкций (см. приложение 7) в зависимости от величины  $\xi$ .

### *Расчёт арматуры*

Площадь сечения арматуры определяем по формуле

$$A_S = \frac{M}{\eta \times t_0 \times R_S} \quad (2.17)$$

где  $t_0$  – принятое значение рабочей части толщины плиты, м;

$\eta$  – параметр, определяемый по специальным таблицам (см. приложение 7)

в зависимости от величины

$$A'_0 = \frac{M}{\sigma \times t^2_0 \times R'_\sigma} \quad (2.18)$$

По сортаменту (см. приложение 8) устанавливается необходимое количество арматуры (d 25-36мм) и определяется коэффициент армирования бетона

$$\mu = \frac{\dot{A}'_s}{\hat{a} \times t_0} \quad (2.19)$$

$A'_s$  – уточнённая (с учётом принятой арматуры) площадь армирования, м<sup>2</sup>.

### 2.3 Пример расчёта напорной плиты контрфорсной плотины

*Расчёт размеров элементов плотины*

Исходные расчётные показатели:  $H_1 = 30$  м;  $l_0 = 8$  м;  $\Theta_1 = 55^\circ$ ;  $\Theta_2 = 70^\circ$ ;  
 $t = 0,85$  м;  $d = 2$  м;  $a = 0,45$  м.

Высота плотины контрфорса (плотины)

$$H_{пл} = H_1 + d + h_\phi = 30 + 2,0 + 0,7 = 32,7 \text{ м}$$

Пролёт в свету между контрфорсами

$$l = l_0 - d_n - 2a = 8 - 1,45 - 2 \times 0,45 = 5,65 \text{ м}$$

Длина верхового откоса контрфорса

$$L_k = H_{пл} / \sin \Theta_1 = 32,7 / \sin \Theta_1 = 39,9 \text{ м}$$

Длина расчётного участка плиты

$$l_{расч} = l + \frac{2}{3} t = 5,65 + \frac{2}{3} \times 0,85 = 6,22 \text{ м}$$

Геометрическая длина напорной плиты (в пределах одного контрфорса)

$$l = l_0 - 2a = 8 - 2 \times 0,45 = 7,1 \text{ м}$$

Размер контрфорса в основании плотины

$$B_{осн} = B_{гр} + H_{пл}(m_1 + m_2) = 4,5 + 32,7(0,7 + 0,36) = 39,2 \text{ м,}$$

где  $m_1 = \operatorname{ctg} \Theta_1 = \operatorname{ctg} 55^\circ = 0,70$

$m_2 = \operatorname{ctg} \Theta_2 = \operatorname{ctg} 70^\circ = 0,36$

### *Определение расчётных нагрузок*

Удельные (равномерно-распределённые) нагрузки (см. рис. 2.7) на 1 п.м.

ПЛОТИНЫ:

- от гидростатического давления воды

$$q_1 = \rho g h_{\text{ст}} b = 1000 \times 9,81 \times 29,6 \times 1,0 = 290,4 \text{ кН/м}$$

- от собственного веса (нормальная составляющая)

$$q_2 = \gamma_6 t b \cos \Theta_1 = 24,5 \times 1 \times 1 \times 0,85 \times \cos 55^\circ = 11,9 \text{ кН/м}$$

где  $\Theta_1$  – угол верхового откоса плотины, град;

$\gamma_6$  – удельный вес бетона (в расчёте можно принять  $\gamma_6 = 24,5 \text{ кН/м}^3$ )

- полная удельная нагрузка

$$q = q_1 + q_2 = 290,4 + 11,9 = 302,3 \text{ кН/м}$$

Максимальный изгибающий момент (посредине пролёта) определяется по формуле

$$M = \frac{q \times l_{\text{расч}}^2}{8} = \frac{302,3 \times 6,22^2}{8} = 1461,9 \text{ кН*м}$$

### *Расчёт толщины напорной плиты*

В основе расчёта лежит выполнение двух условий:

$$h_0 \leq t_0 \text{ и } \xi \leq [\xi_R]$$

где  $h_0$  – расчётная ширина (толщина) изгибаемого элемента м;

$t_0$  – рабочая толщина плиты, м;

$$t_0 = t - \Delta t, \text{ м}$$

$t$  – предварительно принятая толщина плиты;

$\Delta t$  – толщина защитного слоя в зависимости от конструктивно-производственных условий ( $\Delta t = 3 - 5 \text{ см}$ );

$\xi$  – относительная высота сжатой зоны бетона, м

$$\xi = \frac{x}{h_0}$$

$x$  – высота сжатой зоны бетона, м

Допустимая (граничная) высота сжатой зоны

$$\xi_{SR} = \frac{W}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{SC(U)}} \times \left(1 - \frac{W}{1.1}\right)} = \frac{0,674}{1 + \frac{225}{400} \times \left(1 - \frac{0,674}{1,1}\right)} = 0,55$$

где  $W$  – характеристика сжатой зоны;

$$W = \alpha - 0,008R_6 = 0,85 - 0,008 \times 22 = 0,674$$

$\alpha$  – коэффициент, принимаемый для тяжёлого бетона  $\alpha = 0,85$ ;

$R_6$  – нормативное сопротивление бетона на сжатие,  $R_6 = 22$  МПа ;

$\sigma_{SR}$  – предварительное напряжение арматуры, в данном случае  $\sigma_{Sp} = 0$ ;

$$\sigma_{SR} = R_S - \sigma_{Sp} = 225 - 0 = 225 \text{ МПа}$$

$R_S$  – нормативное сопротивление бетона на сжатие,  $R_S = 225$  МПа;

$\sigma_{SC(U)}$  – предельное напряжение арматуры сжатой зоны,  $\sigma_{SR(U)} = 400$  МПа.

Рабочая высота сечения (толщина плиты) определяется по формуле

$$h_0 = \sqrt{\frac{M}{A_0 \times b \times R'_6}} = \sqrt{\frac{1461,9 \times 10^3}{0,399 \times 1,0 \times 10 \times 10^6}} = 0,61 \text{ м}$$

$$R'_6 = R_6 / K_3 = 22 / 2,2 = 10 \text{ МПа}$$

где  $R_6$  – нормативное сопротивление бетона на сжатие с учётом коэффициента запаса (см. приложение 9);

$K_3$  - для плиты II класса по основным нагрузкам (см. приложение 9),

$$K_3 = 2,2;$$

$$A_0 = 0,399 \text{ при } \xi = \xi_R = 0,55$$

Рабочая толщина плиты по предварительно принятому размеру

$$t_0 = t - \Delta t = 0,85 - 0,05 = 0,8 \text{ м}$$

Анализ двух условий:

$$h_0 \leq t_0 \text{ и } \xi \leq [\xi_R] \text{ или } 0,61 < 0,80 \text{ м и } 0,55 = 0,55$$

позволяет сделать вывод о приемлемости предварительно принятой толщины напорной плиты  $t = 0,85$  м (с запасом).

### *Расчёт арматуры*

Площадь сечения арматуры определяем по формуле

$$A_S = \frac{M}{\eta \times t_0 \times R_s} = \frac{1461,9 \times 10^3}{0,9 \times 0,80 \times 225 \times 10^6} = 0,00924 \text{ м} = 92,4 \text{ см}^2$$

где  $t_0$  – ранее принятое значение рабочей части толщины плиты,  $t_0 = 0,8$  м;

$\eta$  – параметр,  $\eta = 0,9$  определяемый по специальным таблицам (см. приложение 7) в зависимости от величины  $A'_0$

$$A'_0 = \frac{M}{\sigma \times t_0^2 \times R'_\sigma} = \frac{1461,9 \times 10^3}{1,0 \times 0,8^2 \times 10 \times 10^6} = 0,18$$

По сортаменту (см. приложение 8) подбираем стержни арматуры:

- 6 стержней  $d = 28$  мм с общей площадью сечения ( $A_{S1} = 36,95 \text{ см}^2$ );

- 4 стержня  $d = 32$  мм с общей площадью сечения ( $A_{S1} = 32,17 \text{ см}^2$ );

5 стержней  $d = 25$  мм с общей площадью сечения ( $A_{S1} = 24,54 \text{ см}^2$ )

Уточняем площадь сечения арматуры

$$A'_S = A_{S1} + A_{S2} + A_{S3} = 36,95 + 32,17 + 24,54 = 93,66 \text{ см}^2$$

Коэффициент армирования бетона

$$\mu = \frac{\dot{A}_s'}{\hat{a} \times t_0} = \frac{93,66 \times 10^{-4}}{1,0 \times 0,8} = 0,012$$

## 2.4 Расчёт устойчивости контрфорса на сдвиг

Критерием оценки устойчивости контрфорса железобетонной плотины на сдвиг является условие

$$K_c > [K_c] \quad (2.20)$$

где  $[K_c]$  – нормативный коэффициент запаса устойчивости (по заданию  $[K_c] = 1,2$ ).

Расчётный коэффициент запаса устойчивости определяется по формуле

$$K_c = \frac{f \times N + c \times F}{T} \quad (2.21)$$

где  $N$  – сумма проекций всех сил на нормаль к расчётной плоскости сдвига (в данном случае на вертикаль), кН;

$F$  – сумма проекций всех сил, действующих на конструкцию по направлению плоскости сдвига (в данном случае на горизонтальную плоскость), кН

$f$  – коэффициент трения бетона по скользкому основанию (см. прилож. 1);

$c$  – удельное сцепление бетона со скальным основанием, Па (см. прилож. 1)

*Определение расчётных нагрузок на контрфорс:*

- вес бетонных конструкций (собственный вес контрфорса), кН

$$G_k = \gamma_b \times \sum V_i \quad (2.22)$$

где  $\gamma_6$  – удельный вес бетона,  $\gamma_6 = 24,5 \text{ кН/м}^3$  ;

$\sum V_i$  – суммарный объем фрагментов конструкции контрфорса,  $\text{м}^3$

- вес опирающейся на контрфорс напорной плиты

- 

$$G_k = \gamma_6 \times \sum V_i = \gamma_6 \times S_{\text{нп}} \times t_{\text{ср}} = \gamma_6 \times l_{\text{нп}} \times L_k \times \frac{t_{\text{сп}} + t}{2}, \text{ кН} \quad (2.23)$$

где  $l_{\text{нп}}$ ,  $L_k$ ,  $t_{\text{гр}}$ ,  $t$  - параметры элементов плотины, м

- сила гидростатического давления на конструкцию одного контрфорса, Н

$$P = p \times \omega = \rho g H_{\text{цт}} l_{\text{нп}} \times L_k \quad (2.24)$$

- прочие нагрузки: величиной силы фильтрационного противодействия ( $W_\phi$ ) и силы давления взвешенного грунта  $P_{\text{гр}}$  (заилиение) можно пренебречь вследствие их небольшой величины для данной конструкции плотины (за счёт увеличения коэффициента запаса устойчивости).

## 2.5 Пример расчёта устойчивости контрфорса на сдвиг

Исходные расчётные показатели:  $H_1 = 30 \text{ м}$ ;  $l_0 = 8 \text{ м}$ ;  $l_{\text{нп}} = 7,1 \text{ м}$ ;  $\Theta_1 = 55^\circ$ ;  $\Theta_2 = 70^\circ$ ;  $t = 0,85 \text{ м}$ ;  $t_{\text{гр}} = 0,4 \text{ м}$ ;  $d_{\text{н}} = 1,45 \text{ м}$ ;  $d_{\text{в}} = 0,5 \text{ м}$ ;  $a = 0,45 \text{ м}$ ;  $h_\phi = 0,7 \text{ м}$ ;  $\gamma_6 = 24,5 \text{ кН/м}^3$  (остальные исходные данные указаны ранее).

Собственный вес конструкции контрфорса

$$G_k = \gamma_6 \times \sum V_i = \gamma_6 \times (V_1 + V_2) = 24,5 \times (681,7 + 39,8) = 17676,8 \text{ кН}$$

где  $\gamma_6$  – удельный вес бетона,  $\gamma_6 = 24,5 \text{ кН/м}^3$  ;

$V_1$  – объем верхней части контрфорса (с переменной толщиной),  $\text{м}^3$

$$V_1 = S_{\text{трапец}} \times d_{\text{ср}} = \frac{B_{\text{осн}} + b_{\text{сп}}}{2} (H_1 + d) \times \frac{d_n + d_6}{2}$$

$$V = \frac{39,2 + 4,5}{2} (30 + 2) \times \frac{1,45 + 0,5}{2} = 681,7 \text{ м}^3$$

$V_2$  – объем нижней части контрфорса (заглубленного в грунт основания),  $\text{м}^3$

$$V_2 = S_{\text{прямо}} \times d = h_{\text{ф}} \times B_{\text{осн}} \times d_n = 0,7 \times 39,2 \times 1,45 = 39,8 \text{ м}^3$$

- вес опирающейся на контрфорс напорной плиты

$$G_{\text{н.п}} = \gamma_6 \times \sum V_i = \gamma_6 \times S_{\text{нп}} \times t_{\text{ср}} = \gamma_6 \times l_{\text{нп}} \times L_{\text{к}} \times \frac{t_{\text{сп}} + t}{2}, \text{ кН}$$

$$G_{\text{н.п}} = 24,5 \times 7,1 \times 39,9 \times \frac{0,4 + 0,85}{2} = 4337 \text{ кН}$$

где  $l_{\text{нп}}$ ,  $L_{\text{к}}$ ,  $t_{\text{сп}}$ ,  $t$  - параметры элементов плотины, м

- сила гидростатического давления на конструкцию одного контрфорса, Н

$$P = p \times \omega = \rho g H_{\text{ст}} l_{\text{нп}} \times L_{\text{к}}$$

$$P = 1000 \times 9,81 \times 15 \times 8 \times 39,9 = 46970280 \text{ Н} = 46970,3 \text{ кН}$$

Вертикальная составляющая силы гидростатического давления

$$P_{\text{в}} = P \times \cos \Theta_1 = 46970,3 \times \cos 55^\circ = 26773,1 \text{ кН}$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления

$$P = T = P \times \sin \Theta_1 = 46970,3 \times \sin 55^\circ = 38515,6 \text{ кН}$$

Сумма проекций вертикальных сил на нормаль к плоскости сдвига

$$N = G_k + G_{н.п.} + P_B = 17676,8 + 4637,9 + 26773,1 = 48787,8 \text{ кН}$$

Расчётный коэффициент запаса устойчивости контрфорса

$$K_c = \frac{f \times N + c \times F}{T} = \frac{0,7 \times 48787,7 + 0,3 \times 10^3 \times 56,84}{38515,6} = 1,33$$

где  $f$  – коэффициент трения бетона по грунту основания (см. прилож. 10),

$$f = 0,7;$$

$c$  – удельное сцепление на подошве контрфорса,  $c = 0,3$  МПа;

$F$  – площадь плоскости сдвига

$$F = B_{\text{осн}} \times d_n = 39,2 \times 1,45 = 56,84 \text{ м}^2$$

В результате расчёта получаем  $K_c = 1,33 > [K_c] = 1,2$ , следовательно, имеет место запас устойчивости контрфорса на сдвиг.

Приложение 1

Расчётные сопротивления сталей, МПа

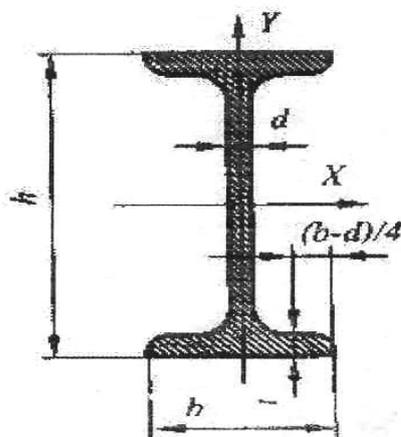
Марка стали	Вид проката	Толщина проката, мм	R <sub>y(σ)</sub> по СНиП II-23 -81	Для затворов		
				R <sub>y(σ)</sub> при осевом растяжении и сжатии	R <sub>y(и)</sub> при изгибе	R <sub>c</sub> при сдвиге
ВСтЗсп5	Лист	6...20	225	162	170	94
		21...40	215	155	163	90
	Фасон	6...20	235	169	178	98
16Д	Лист	6...20	215	155	163	90
		21...40	205	148	155	86
	Фасон	6...20	215	155	163	90
09Г2С	Лист	6...20	315	227	238	132
		21...32	290	209	219	121
	Фасон	6...20	315	227	238	132
15ХСНД	Лист	6...32	330	238	249	139
		Фасон	6...20	310	223	234

Приложение 2

Коэффициенты трения для некоторых материалов

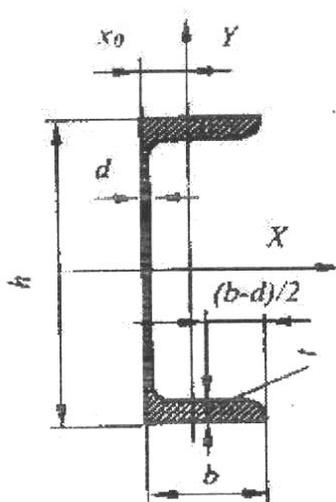
Материал	Коэффициент трения
Сталь по стали	0,50
Сталь по бронзе	0,30
Дерево по стали вдоль волокон	0,45
Дерево по стали поперёк волокон	0,55
Резина по нержавеющей стали в зависимости от твёрдости резины	0,70 - 0,90
Древесно-слоистый пластик (ДСП-Б, зажатый в обойме с натягом не менее 2%, торцом по цилиндрической шлифованной поверхности рельса из нержавеющей стали в зависимости от нагрузки	0,23 – 0,13

Сортамент прокатной стали  
Двутавры стальные горячекатанные (ГОСТ 8239-98)



Номер балки	Размеры, мм				Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей						
	h	b	d	t			X				Y		
							I <sub>x</sub> см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> см	S <sub>x</sub> см	I <sub>y</sub> см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> см
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,50	350	38,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,4	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	19,90	1430	159,0	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115	23,1	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	22,70	2030	203,0	8,37	114,0	155	28,2	2,32
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157	28,6	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	25,80	2790	254,0	9,22	143,0	206	34,3	2,50
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198	34,5	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	29,40	3800	317,0	10,1	178,0	260	41,6	2,63
27	270	125	6,0	9,8	40,2	31,50	5010	371,0	11,2	210,0	260	41,5	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	33,90	5500	407,0	11,3	229,0	337	50,0	2,80
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,50	7080	472,0	12,3	268,0	337	49,9	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	39,20	7780	518,0	12,5	292,0	436	60,1	2,95
33	330	140	7,0	11,2	53,8	42,20	9840	597,0	13,5	339,0	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,60	13380	743,0	14,7	423,0	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,2	545,0	667	86,1	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	66,50	27696	1231,0	18,1	708,0	808	101,	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100,0	78,50	39727	1589,0	19,9	919,0	1043	123,	3,23
55	550	180	11,0	16,3	118,0	92,60	35962	2035,0	21,8	1181,0	1356	151,	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138,0	108,0	76806	2560,0	23,6	1491,0	1725	182,	3,54

Швеллеры стальные горячекатаные (ГОСТ 8240-89)



Номер профиля	Масса 1 м, кг	Размеры, мм				Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей							x, см
		h	b	d	t		X				Y			
							I <sub>x</sub> см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> см	S <sub>x</sub> см	I <sub>y</sub> см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> см	
5	4,84	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,10	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	5,90	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,0	8,70	3,68	1,08	1,24
8	7,05	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	8,59	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	10,4	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	12,3	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
14a	13,3	140	62	4,9	8,7	17,0	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87
16	14,2	160	64	5,0	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16a	15,3	160	68	5,0	9,0	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	16,3	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94
18a	17,4	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	18,4	200	76	5,2	9,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,02	2,07
20a	19,8	200	80	5,2	9,7	25,2	1670	167	8,15	95,6	139	21,2	2,35	2,28
22	21,0	220	82	5,4	9,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	22,6	220	87	5,4	10,2	28,8	2330	212	8,90	121	187	30,0	2,55	2,46
24	24,0	240	90	5,6	10,0	30,6	2900	242	9,37	139	208	31,6	2,60	2,42
24a	25,8	240	95	5,6	10,7	32,9	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78	2,67
27	27,7	270	95	6,0	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	31,8	300	100	6,5	11,0	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	36,5	330	105	7,0	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	41,9	360	110	7,5	12,6	53,4	10200	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	48,3	400	115	8,0	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

## Нормативные и расчётные сопротивления тяжёлого бетона, МПа

Класс бетона по прочности на сжатие	Вид сопротивления бетона			
	нормативные сопротивления, расчётные сопротивления для предельных состояний второй группы		расчётные сопротивления для предельных состояний первой группы	
	сжатие осевое (призменная прочность) $R_{b,ser}$	Растяжение осевое $R_{bt,ser}$	сжатие осевое (призменная прочность) $R_b$	Растяжение осевое $R_{b,t}$
B7,5	5,5	0,70	4,5	0,48
B10	7,5	0,85	6,0	0,57
B12,5	9,5	1,00	7,5	0,66
B15	11,0	1,15	8,5	0,75
B20	15,0	1,40	11,5	0,90
B25	18,5	1,60	14,5	1,05
B30	22,0	1,80	17,0	1,20
B35	25,5	1,95	19,5	1,30
B40	29,0	2,10	22,0	1,40
B45	32,0	2,20	25,0	1,45
B50	36,0	2,30	27,5	1,55
B55	39,5	2,40	30,0	1,60
B60	43,0	2,50	33,0	1,65

Нормативные и расчётные сопротивления арматуры, МПа

Класс арматуры	Диаметр d, мм	Нормативные сопротивления растяжению, расчётные сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{s,ser}$	Расчётные сопротивления для предельных состояний первой группы		
			растяжению		сжатию $R_{s,c}$
			Продольной $R_s$	поперечной (хомутов и отгибов) $R_{s,w}$	
А – I	6...40	235	225	175	225
А- II	10...80	295	280	225	280
А- III	6...8	390	355	285(255)*	355
	10...40	390	365	290(255)*	365
А- IIIв с контролем: удлинения и напряжения только удлинения	20...40	540	490	390	200
	20...40	540	450	360	200
А – IV	10...28	590	510	405	400
А- V	10...32	785	680	545	400
А- VI	10...28	980	815	650	400
В <sub>p</sub> – I	3	410	375	270(300)**	375
	4	405	365	265(295)**	365
	5	395	360	260(290)**	360
В – II	3	1490	1240	990	400
	4	1410	1180	940	400
	5	1335	1110	890	400
	6	1255	1050	835	400
	7	1175	980	785	4000
	8	1100	915	730	400
В <sub>p</sub> - II	3	1460	1215	970	400
	4	1370	1145	915	400
	5	1255	1045	835	400
	6	1175	980	785	400
	7	110	915	730	400
	8	1020	850	680	400
К – 7	6	1450	1210	965	400
	9	1370	1145	915	400
	12	1335	1110	890	400
	15	1295	1080	865	400
К - 19	14	1410	1175	940	400

Данные для расчёта изгибаемых элементов прямоугольного сечения,  
армированных одиночной арматурой

$\xi = x/h_0$	$r_0 = \frac{1}{\sqrt{A_0}}$	$\eta = z_b/h_0$	$A_0$	$\xi = x/h_0$	$r_0 = \frac{1}{\sqrt{A_0}}$	$\eta = z_b/h_0$	$A_0$
0,01	10	0,995	00,01	0,36	1,84	0,82	0,295
0,02	7,12	0,99	0,02	0,37	1,82	0,815	0,301
0,03	5,82	0,985	0,03	0,38	1,80	0,81	0,309
0,04	5,05	0,98	0,039	0,39	1,78	0,805	0,314
0,05	4,53	0,975	0,048	0,40	1,77	0,80	0,32
0,06	4,15	0,97	0,058	0,41	1,75	0,795	0,326
0,07	3,85	0,965	0,067	0,42	1,74	0,79	0,332
0,08	3,31	0,96	0,077	0,43	1,72	0,785	0,337
0,09	3,41	0,955	0,085	0,44	1,71	0,78	0,343
0,10	3,24	0,95	0,095	0,45	1,69	0,775	0,349
0,11	3,11	0,945	0,104	0,46	1,68	0,77	0,354
0,12	2,98	0,94	0,113	0,47	1,67	0,765	0,359
0,13	2,88	0,935	0,121	0,48	1,66	0,76	0,365
0,14	2,77	0,93	0,13	0,49	1,64	0,755	0,37
0,15	2,68	0,925	0,139	0,50	1,63	0,75	0,375
0,16	2,61	0,92	0,147	0,51	1,62	0,745	0,038
0,17	2,53	0,915	0,156	0,52	1,61	0,74	0,385
0,18	2,47	0,91	0,155	0,53	1,60	0,735	0,39
0,19	2,41	0,905	0,164	0,54	1,59	0,73	0,394
0,20	2,36	0,90	0,172	0,55	1,58	0,725	0399
0,21	2,31	0,895	0,18	0,56	1,57	0,72	0403
0,22	2,26	0,89	0,188	0,57	1,56	0,715	0,408
0,23	2,22	0,885	0,196	0,58	1,55	0,71	0,412
0,24	2,18	0,88	0,203	0,59	1,54	0,705	0,416
0,25	2,14	0,875	0,211	0,60	1,535	0,70	0,42
0,26	2,10	0,87	0,226	0,61	1,53	0,695	0,424
0,27	2,07	0,865	0,236	0,62	1,525	0,69	0,428
0,28	2,04	0,86	0,241	0,63	1,52	0,685	0,432
0,29	2,01	0,855	0,248	0,64	1,515	0,68	0,435
0,30	1,98	0,85	0,255	0,65	1,51	0,675	0,439
0,31	1,95	0,845	0,262	0,66	1,50	0,67	0,442
0,32	1,93	0,84	0,269	0,67	1,495	0,665	0,446
0,33	1,90	0,835	0,275	0,68	1,49	0,66	0,449
0,34	1,88	0,83	0,282	0,69	1,485	0,655	0,452
0,35	1,86	0,825	0,289	0,70	1,48	0,65	0,455

## Сортамент стержней и проволочной арматуры

Диаметр, мм	Расчётные площади поперечного сечения (м <sup>2</sup> ) при числе стержней								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0,071	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,57	0,64
4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13
5	0,196	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55
7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18
14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10
18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90
20	3,142	6,28	9,41	12,56	15,71	18,85	21,99	25,14	28,28
22	3,801	7,6	11,4	15,20	19,00	22,81	26,61	30,41	34,21
25	4,909	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18
28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,1	49,26	55,42
32	8,042	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,9	61,08	71,26	81,44	91,62
40	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92	100,5	118,0

## Продолжение приложения 8

Диаметр, мм	Масса 1м длины, кг	Сортамент арматуры классов								
		А-I, А-III	А-II	А-IIIв	А-IIIС IV,А-VI	А-V А-VСK, А-VI	А-V Ас-II	В-I Вр-I	В-II Вр-II	
3	0,055	-	-	-	-	-	-	X	X	
4	0,098	-	-	-	-	-	-	X	X	
5	0,154	-	-	-	-	-	-	X	X	
6	0,222	X	-	-	-	-	-	-	X	
7	0,302	-	-	-	-	-	-	-	X	
8	0,395	X	-	-	-	-	-	-	X	
10	0,617	X	X	-	X	X	X	-	-	
12	0,888	X	X	-	X	X	X	-	-	
14	1,208	X	X	-	X	X	X	-	-	
16	1,578	X	X	-	X	X	X	-	-	
18	1,998	X	X	-	X	X	X	-	-	
20	2,466	X	X	X	X	X	X	-	-	
22	2,984	X	X	X	X	X	X	-	-	
25	3,853	X	X	X	-	X	X	-	-	
28	4,834	X	X	X	-	X	X	-	-	
32	6,313	X	X	X	-	-	X	-	-	
36	7,99	X	X	X	-	-	-	-	-	
40	9,87	X	X	X	-	-	-	-	-	

Примечание. Значком «X» отмечены прокатываемые диаметры

Приложение 9 Коэффициенты запаса прочности для бетонных конструкций

Причины разрушения бетона	Коэффициенты запаса прочности при классе сооружений					
	I		II		III	
	Сочетание нагрузок и воздействий					
	основные	особые	основные	особые	основные	особые
Достижение бетоном предела прочности на сжатие	2,4	2	2,2	1,7	2,1	1,7
Достижение бетоном предела прочности на растяжение	3,6	2,7	3,3	2,5	3	2,3

Приложение 10-Расчётные значения параметров сопротивляемости сдвигу плотин и их скальных оснований для однородных скальных пород

Характеристика пород основания	f	c, МПа
Граниты, сиениты и другие скальные породы практически нетрещиноватые, с временным сопротивлением сжатию более 40 МПа	0,75	0,40
Слаботрещиноватые или трещиноватые, но с площадной цементацией на глубину не менее 1/10H, с временным сопротивлением сжатию более 40 МПа	0,70	0,30
Скальные породы трещиноватые, с временным сопротивлением сжатию приблизительно 40 МПа и скальные породы трещиноватые, с временным сопротивлением сжатию 5 – 40 МПа без площадной цементации	0,65	0,20

**Литература**

1. Инженерные конструкции/ Р.И. Берген и др. под ред. Р.И. Берген. М.: Высш. шк., 1989 – 415 с.
2. Железняков Г.В. и др. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1983.
3. Мандриков А.П. Примеры расчёта железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1989

Учебное издание

Дунаев Александр Иванович  
Зверева Людмила Алексеевна

Инженерные конструкции  
Методические указания по изучению дисциплины и задания для курсового  
проекта

---

Подписано к печати 09.10.2015 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,31. Тираж 25 экз. Изд. № 3683.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ

