

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович  
Должность: ректор ФГБОУ ВО Вавиловский университет  
Дата подписания: 06.03.2023 14:59:38  
Уникальный программный ключ:  
528682d78e671e566ab07f01fe1ba2172f735a12

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и  
инженерии  
имени Н. И. Вавилова**

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

Методические указания по выполнению курсового проекта

для направления подготовки  
**35.03.11 Гидромелиорация**

**Саратов 2022**

**Инженерные конструкции:** методические указания по выполнению курсового проекта / Сост.: Т. А. Панкова // Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2022. – 20 с.

Методические указания по выполнению курсового проекта составлены в соответствии с программой дисциплины «Инженерные конструкции» и предназначены для обучающихся направления подготовки 35.03.11 Гидромелиорация, содержат примерный план и краткое описание глав курсового проекта.

## ВВЕДЕНИЕ

Целью курсового проекта является освоение навыков самостоятельного проектирования инженерных конструкций на примере проектирования металлического щита плоского поверхностного затвора. Работа выполняется в соответствии с действующими нормами и стандартами. Варианты заданий приведены в приложении 1.

В данных методических указаниях приведен примерный план и краткое описание глав курсового проекта, который состоит из графической части и расчетно-пояснительной записки.

Тематика курсового проекта «Проектирование плоского щита поверхностного затвора».

В графической части разрабатываются фасад щита, поперечный разрез щита, рабочие чертежи ригеля и фермы, проектируется узловое соединение элементов фермы.

В расчетно-пояснительной записке приводятся основные расчеты, необходимые для проектирования плоского двухригельного строительного затвора поверхностного типа со сплошными ригелями для гидротехнического сооружения.

**Перечень графического материала с точным указанием обязательных чертежей:**

Графическая часть выполняется на 1 листе формата А-1, и включает в себя:

- фасад и поперечный разрез щита (масштаб 1:50);
- рабочие чертежи ригеля (масштаб 1:25);
- рабочие чертежи фермы продольных связей (масштаб 1:25);
- рабочие чертежи узлового соединения элементов щита (масштаб 1:10).

### **Содержание расчетно-пояснительной записки:**

Титульный лист.

Задание.

Содержание.

ВВЕДЕНИЕ

1. КОНСТРУКЦИЯ ЩИТА ЗАТВОРА. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

2. КОМПОНОВКА ЩИТА

2.1 Расстановка ригелей

2.2 Расстановка балок

2.3 Расстановка стоек

3. РАСЧЕТ ОБШИВКИ

3.1 Статический расчет обшивки

3.2 Конструктивный расчет обшивки

4. РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ БАЛОК

4.1 Статический расчет вспомогательных балок

4.2 Конструктивный расчет вспомогательных балок

5. ГЛАВНЫЕ БАЛКИ

5.1 Статический расчет ригеля

5.2 Конструктивный расчет ригеля

5.3 Проверка прочности и прогиба ригеля

5.4 Изменение сечения ригеля по длине

5.5 Проверка устойчивости ригеля

5.6 Расчет поясных швов и опорного узла ригеля

5.7 Монтажный стык ригеля

## 6. ФЕРМЫ ПРОДОЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ

6.1 Статический расчет фермы продольных связей

6.2 Конструктивный расчет поясов фермы продольных связей **Ошибка! Закладка не определена.**

6.3 Конструктивный расчет решетки фермы

6.4 Расчет сварных узлов фермы

6.5 Конструирование узлов фермы

Заключение

Список используемой литературы

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Титульный лист оформляется в соответствии с приложением 1.
2. Объем не менее 30, но не более 40 стр. формата А4.
3. Поля: левое – 30 мм, правое – 15, верхнее – 20, нижнее – 20 мм.
4. Основной текст – шрифт TimesNewRoman, кегль 14.
5. Заголовки – по центру, прописной полужирный шрифт TimesNewRoman, кегль 14.
6. Раздел «Список литературы» – TimesNewRoman, кегль 12.
7. Интервал: между строками – 1,5; между заголовками и текстом – 1;
8. Абзацный отступ – 1,25 см.
9. Выравнивание основного текста – по ширине. Переносы не допускаются.
10. Нумерация страниц – середина нижнего поля. Нумерация начинается с третьей страницы.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГЛАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### Введение

Во введении кратко излагаются цель и задачи проектирования плоского двухригельного строительного затвора поверхностного типа со сплошными ригелями для гидротехнического сооружения.

### 1. Конструкция щита затвора. Механические свойства материалов.

В первой главе приводятся основы расчета и конструирования затворов, проводится расчет нормативных сопротивлений стали, относящиеся к механическим характеристикам материала, подбирается тип электрода для ручной сварки, делается описание конструкции плоского затвора, составляется расчетная общая схема плоского затвора ГТС.

В курсовом проекте необходимо запроектировать стальной щит плоского поверхностного двухригельного затвора со сплошными ригелями, с опорно-ходовым колесным устройством.

Исходными данными для проектирования являются:

- 1) эксплуатационное назначение затвора;
- 2) материал затвора;
- 3) ширина перекрываемого отверстия  $l_0$ , м;
- 4) расчетный напор  $H$ , м;

Для конструкций щита затвора обычно применяют малоуглеродистые стали С245, С255, С275, С285; при эксплуатации затворов при температуре ниже -20 °С применяют низколегированные стали С345.

Нормативные временные сопротивления и расчетные сопротивления по пределу текучести для стального проката приведены в табл. 1.

Расчетное сопротивление стали сдвигу определяется по формуле:

$$R_s = 0,58R_y.$$

В проекте предусматривается сварное соединение конструктивных элементов щита. Высота расчетных сварных швов должна приниматься не менее 6 мм, уплотнительных - 4 мм. Типы электродов в зависимости от марки стали и расчетные сопротивления металла углового шва  $R_{wf}$  приведены в табл. 2.

Таблица 1. – Расчетные сопротивления стали

Сталь	Толщина проката, мм	Нормативное временное сопротивление проката $R_{un}$ , МПа		Расчетное сопротивление проката по пределу $R_y$ , МПа	
		лист	фасон	лист	фасон
С245	От 2 до 20	370	370	240	240
	Свыше 20 « 30	-	370	-	230
С255	От 2 до 3,9	380	-	250	-
	« 4 « 10	380	380	240	250
	Свыше 10 до 20	370	370	240	240
	« 20 « 40	370	370	230	230
С275	От 2 до 10	380	390	270	270
	Свыше 10 « 20	370	380	260	270
С285	От 2 до 3,9	370	-	280	-
	« 4 « 10	390	400	270	280
	Свыше 10 до 20	390	390	260	270
С345	От 2 до 10	490	490	335	335
	Свыше 10 « 20	470	470	315	315
	« 20 « 40	460	460	300	300

Таблица 2. – Типы электрода и расчетное сопротивление сварного соединения срезу по металлу шва

Сталь	Тип электрода	Марка проволоки	Расчетное сопротивление сварного соединения срезу по металлу шва $R_{wf}$ , МПа
С245, С255,	Э42	Св-0,8	180
			200

C275, C285	Э46	Св-08А	
C345	Э50	Са-10ГА	215

Расчетное сопротивление металла на границе сплавления определяется по формуле:

$$R_{wz} = 0,45R_{un}.$$

Для удобства дальнейших расчетов значения расчетных сопротивлений рекомендуется свести в табл. 3.

Таблица 3. – Расчет расчетных сопротивлений стали

Толщина проката, мм		Расчетное сопротивление, мПа					
		$R_y$	$R_s$	$R_y\gamma_c$	$R_s\gamma_c$	$R_{wf}$	$R_{wz}$
Лист	От 4 до 10						
	Свыше 10 до 20						
	Свыше 20 до 40						
Фасон	От 4 до 10						
	Свыше 10 до 20						
	Свыше 20 до 40						

## 2. Компонировка щита

Во второй главе приводится расчет пролета ригеля, проводится расстановка ригелей исходя из условия их равнозагруженности, выбирается схема расположения балок, стоек и ригелей, проводится расстановка стоек, вспомогательных балок, вычерчивается схема расстановки горизонтальных балок и балочная клетка щита.

Расчетный пролет ригеля  $l$ , м, определяется по формуле:

$$l = 1,05l_0,$$

где  $l_0$  - ширина отверстия, м.

Высоту щита затвора назначают больше расчетного напора  $H$  на 20-50 см с учетом запаса на волнобой:

$$H_{щ} = H + 0,5, \text{ м.}$$

Нижний ригель устанавливается на расстоянии  $a_2$  от низа затвора для того, чтобы избежать образования вакуума под нижним ригелем при поднятии затвора. Расстояние  $a_2$  от низа затвора до оси нижнего ригеля назначается:

$$a_2 = 0,12 H, \text{ м.}$$

Расстояние от низа щита до равнодействующей гидростатического давления воды на затвор составляет  $H/3$ :

$$a_2 + 0,5 a = H/3,$$

тогда расстояние между ригелями  $a$  составит:

$$a - 2 (H/3 - a_2), \text{ м.}$$

Длина консольной части:

$$a_1 = H_{щ} - a - a_2, \text{ м.}$$

Приняв предварительно ширину полки швеллера вспомогательной балки 6 см (для минимального швеллера № 16) и ширину пояса ригеля 30 см, определяем пролеты обшивки в свету снизу вверх:

$$l_6 = a_2 - 0,15 - 0,06, \text{ м.}$$

Между ригелями принимаем две балки, тогда суммарный пролет в свету равен:

$$\sum l_{3,4,5} = a - 0,15 - 0,15 - 0,06 - 0,06, \text{ м.}$$

Средняя величина пролета:

$$l_{3,4,5}^{\text{cp}} = \sum l_{3,4,5} / 3, \text{ м.}$$

Принимаем:

$$l_5 = 0,9 l_{3,4,5}^{\text{cp}}, \text{ м;}$$

$$l_4 = l_{3,4,5}^{\text{cp}}, \text{ м;}$$

$$l_3 = 1,1 l_{3,4,5}^{\text{cp}}, \text{ м.}$$

Вспомогательную балку над ригелем ставим на расстоянии  $0,6 a_1$  от верха щита.

Тогда:

$$l_1 = 0,6 a_1 - 0,06, \text{ м;}$$

$$l_2 = a_1 - l_1 - 0,06 - 0,06 - 0,15, \text{ м.}$$

После расстановки балок рекомендуется сделать проверку:

$$l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + 0,90 = H_{\text{щ}}, \text{ м;}$$

Назначение панелей: рекомендуется при длине щита  $l \leq 5$  м принимать две панели, при  $5\text{ м} < l \leq 12\text{ м}$  - четыре панели, при  $l > 12$  м - шесть панелей. Тогда ширина панели составляет:

$$l_{\text{пан}} = \frac{l}{n_{\text{пан}}}, \text{ м,}$$

где  $n_{\text{пан}}$  - количество панелей.

### 3. Расчет обшивки.

В третьей главе приводится статический и конструктивный расчет обшивки щита. Обшивка щита при действии на неё со стороны верхнего бьефа гидростатического давления воды работает на изгиб. Она опирается на элементы балочной клетки — стойки, ригели, вспомогательные балки и приварена к ним. Поэтому обшивка делится на отдельные отсеки с размерами сторон в более длинном  $l_d$  и в коротком  $l_k$  направлениях. В зависимости от соотношения  $l_d$  и  $l_k$  плиту в отсеках рассчитывают как пластину, закреплённую по четырём сторонам (при  $l_d/l_k < 2$ ) или по двум — более длинным (при  $l_d/l_k \geq 2$ ).

Толщина обшивки в первом случае получится несколько меньшей, но увеличивается количество стоек и соответственно расход металла на них. Выбор оптимального варианта компоновки балочной клетки, исходя из наименьшего веса щита в целом, является результатом сравнения вариантов.

Основной нагрузкой, действующей на обшивку, является нагрузка от гидростатического давления при опущенном затворе. Эпюра гидростатического давления на обшивку в верхнем отсеке имеет вид треугольника, в нижних отсеках - трапеции. Для упрощения расчетов допускают, что нагрузка равномерно распределена по высоте каждого отсека. Интенсивность нагрузки равна гидростатическому давлению по середине каждого отсека обшивки,

действующему на условную полосу шириной 1 м. Тогда в каждом отсеке расчетная равномерно распределенная нагрузка определяется по формуле:

$$p_i = p_{ri} b \gamma_f, \text{ кН/м}$$

где  $p_i$  - гидростатическое давление на середине корпуса отсека обшивки;  $p_{ri} = p_b g H_i 10^{-3}$ , кН/м<sup>2</sup>;  $p_b$  - плотность воды, равная 1000 кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - гравитационная постоянная,  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>;  $H_i$  - глубина от поверхности воды до середины рассматриваемого отсека, м;  $b$  - ширина условной расчетной полосы обшивки;  $b = 1$  м;  $\gamma_f$  - коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,1.

Расчетные изгибающие моменты в каждом отсеке определяются по формуле:

$$M_i = \pm p_i l_i^2 / 16, \text{ кН/м};$$

где  $l_i$  - расчетный пролет условной балки в каждом отсеке, м.

Условие прочности обшивки при изгибе имеет вид:

$$\frac{M_i}{W_x} \leq R_y \gamma_c,$$

где  $W_x$  - момент сопротивления сечения условной расчетной полосы обшивки;

$$W_x = b t^2 / 6, \text{ м}$$

При ширине условной полосы  $b = 1$  м и толщине  $t$ :

$$W_x = \frac{t^2}{6}, \text{ м}$$

Зная расчетное сопротивление металла  $R_y$ , можно найти требуемую толщину обшивки  $t_i$ , в каждом отсеке по формуле:

$$t_i = \sqrt{(6M_i / R_y \gamma_c 10^3)} 10^3, \text{ мм}$$

где  $M_i$  - расчетный изгибающий момент в  $i$ -м отсеке, кН/м;  $R_y$  - расчетное сопротивление листового проката, МПа.

#### 4. Расчет вспомогательных балок.

В четвертой главе приводится статический и конструктивный расчет вспомогательных балок. Вспомогательные балки являются горизонтальными элементами балочной клетки, воспринимают нагрузку от обшивки. Принимаем балки из швеллеров, расположенных ребрами вниз, нижнюю и верхнюю обвязочные балки – также из швеллеров. Вспомогательные балки приваривают к стойкам сбоку, поэтому в качестве расчетной схемы принимаем балку, частично защемленную на опорах в местах соединения со стойками. Так как обшивка рассчитывалась как пластина, опертая по двум сторонам (при  $l_y / l_k \geq 2$ ), то нагрузку на вспомогательную балку находится как сумму нагрузок с двух примыкающих панелей – верхней и нижней. Приводится расчет суммарной нагрузки на горизонтальные элементы щита, определяется наибольшее давление на вспомогательную балку и для нее рассчитывается расчетный изгибающий момент. Конструктивный расчет вспомогательных балок сводится к подбору их поперечного сечения. Требуемый момент сопротивления определяется из условия прочности при изгибе. Вычерчивается расчетная схема вспомогательной балки, расчетное сечение балки и принимается номер профиля для вспомогательных балок.

Интенсивность нагрузки  $q_i$  балки определяется по формуле:

$$q_i = p_{ri}^{cp} d_i \gamma_f, \text{ кН/м};$$



где  $p_{ri}^{cp}$  - среднее гидростатическое давление по высоте грузовой площади для рассматриваемой балки, кН/м<sup>2</sup>,

$$p_{ri}^{cp} = (p_{г.в} + p_{г.н})/2;$$

где  $p_{г.в}$  и  $p_{г.н}$  - соответственно гидростатическое давление по середине верхней и нижней панелей, кН/м<sup>2</sup>;  $d_i$  - высота грузовой площади для рассматриваемой балки, равная расстоянию между серединами примыкающих к балке панелей - верхней и нижней:

$$d_i = H_i - H_{i-1}, \text{ м};$$

$H_i, H_{i-1}$  - соответственно глубина до середины верхней и нижней панелей, м;  $\gamma_f$  - коэффициент надежности по нагрузке,  $\gamma_f = 1,1$ .

Суммарная нагрузка  $g_i$  на горизонтальные элементы щита должна совпадать с теоретическим значением равнодействующей гидростатического давления на обшивку  $P_T$ :

$$\sum g_i = P_T = \frac{1}{2} p_v g H^2 10^{-3}, \text{ кН/м}$$

где  $H$  - расчетный напор, м.

Расчетный изгибающий момент от равномерно распределенной нагрузки для однопролетной балки, частично защемленной на опорах, определяем по формуле:

$$M = q_i^{max} l_{пан}^2 / 10, \text{ кН/м},$$

где  $l_{пан}$  - расчетный пролет вспомогательной балки, равный расстоянию между осями стоек.

Конструктивный расчет вспомогательных балок сводится к подбору их поперечного сечения из условия прочности при изгибе:

$$M/W_x \leq R_y \gamma_c,$$

Тогда требуемый момент сопротивления сечения швеллера равен:

$$W_x^{TP} = M 10^3 / R_y \gamma_c, \text{ см}^3$$

где  $R_y$  - расчетное сопротивление стали при толщине проката до 10 мм, МПа.

Номер швеллера подбирают по сортаменту так, чтобы его момент сопротивления был больше требуемого:

$$W_x \geq W_x^{TP}$$

Для принятого номера швеллера выписывают из сортамента:

- момент сопротивления сечения  $W_x \geq W_x^{TP}$ ;
- площадь поперечного сечения  $A$ ;
- момент инерции сечения  $I_x$ ;
- ширину пояса  $b$ ;

Площадь обшивки, включаемой в расчетное сечение:

$$A_{об} = (2 \cdot 20t + b)t, \text{ см}^2$$

Полная площадь сечения швеллера и обшивки:

$$A_{полн} = A + A_{об}, \text{ см}^2$$

Статический момент сечения относительно оси  $x_1$ :

$$S = A_{об}(h/2 + t/2), \text{ см}^3$$

Смещение центра тяжести сечения:

$$y_c = S/A_{полн}, \text{ см}$$

Расстояние от центра тяжести сечения до края обшивки:

$$y_1 = h/2 + t - y_c = 8 + 1 - 6 = 3, \text{ см}$$

То же, до наружной полки швеллера:

$$y_2 = h/2 + y_c, \text{ см}$$

Момент инерции сечения относительно центральной оси x:

$$I_x^{\text{полн}} = I_x + Ay_c^2 + A_{об}(y_1 - t/2)^2, \text{ см}^4$$

Моментом инерции обшивки относительно собственной центральной оси пренебрегаем.

Моменты сопротивления сечения составят:

$$W_x^{\text{сжат}} = I_x^{\text{полн}}/y_1, \text{ см}^3$$
$$W_x^{\text{раст}} = I_x^{\text{полн}}/y_2, \text{ см}^3$$

Выбрав из двух моментов сопротивления наименьший, проверяют условие прочности при изгибе:

$$\sigma_{\text{max}} = M10^3/W_x^{\text{min}} \leq R_y\gamma_c$$

### 5. Главные балки.

В пятой главе приводится статический и конструктивный расчет главных балок - ригеля. В статическом расчете определяется интенсивность расчетной равномерно распределенной нагрузки на 1 м пролета одного ригеля, опорные реакции ригеля, максимальный изгибающий момент в середине пролета ригеля от действия равномерно распределенной нагрузки. В конструктивном расчете в зависимости от величины изгибающего момента ригеля целесообразно применять балки составного сечения. Для дальнейшего конструктивного расчета в качестве ригелей принимаем этот тип балок.

Подбор сечения ригелей и необходимые проверки производятся как для изгибаемого элемента с учетом требований прочности, жёсткости и устойчивости.

По максимальному расчетному изгибающему моменту в ригеле определяем требуемый момент сопротивления сечения составной балки

Компоновка поперечного сечения ригеля начинается с назначения его высоты, толщины стенки, ширины поясов, затем определяют толщину поясов. Для принятого сечения выполняем ряд проверок на прочность, жесткость и устойчивость.

Принятая высота поперечного сечения ригеля должна обеспечить минимальный расход материала на его изготовление (или стоимость) и требуемую по нормам жесткость.

Проводится расчет поясных сварных швов соединяющие пояса составной балки со стенкой, рассчитываются катеты углового сварного шва по металлу шва и по металлу на границе сплавления

Вычерчиваются расчетная схема ригеля, поперечное сечение составных балок, сечение ригеля, изменение сечения ригеля по длине.

Поскольку ригели установлены из условия равной загруженности, то нагрузка на каждый из них одинакова и равна половине суммарного гидростатического давления на щит. Суммарное гидростатическое давление равно:

$$\sum g_i = P_r = \frac{1}{2} p_v g H^2 10^{-3}, \text{ кН/м}$$

Тогда интенсивность расчетной равномерно распределенной нагрузки на каждый ригель составит:

$$q = 1/2 \sum g_i m, \text{ кН/м,}$$

где m - коэффициент, учитывающий влияние собственной массы затвора на усилия в поясах ригелей; m= 1,1.

Опорные реакции ригеля:

$$R_A = R_B = \frac{ql}{2}, \text{ кН.}$$

Максимальный изгибающий момент в ригеле от действия равномерно распределенной нагрузки равен:

$$M = ql^2/8, \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Зная максимальный изгибающий момент в ригеле  $M$ , определяют требуемый момент сопротивления сечения:

$$W^{TP} = M \cdot 10^3 / R_y \gamma_c, \text{ см}^3;$$

где  $R_y$ - расчетное сопротивление стального проката толщиной 20-40 мм. МПа.

Размеры поперечного сечения ригеля удобно определять в сантиметрах.

1) Высота поперечного сечения ригеля должна обеспечивать минимальный расход материала на его изготовление и требуемую жесткость.

Оптимальная высота ригеля, обеспечивающая наименьший расход металла, определяется по эмпирической формуле:

$$h_{\text{опт}} = \sqrt[3]{1,5W_x^{TP} h_\omega / t_\omega}, \text{ см,}$$

где  $W_x^{TP}$ - требуемый момент сопротивления сечения,  $\text{см}^3$ ;  $h_\omega$ - расчетная высота стенки балки, см;  $t_\omega$  толщина стенки балки, см.

Для балок со стенкой, укрепленной поперечными ребрами жесткости, отношение  $h_\omega / t_\omega$  рекомендуется 100-160.

Минимальная высота ригеля, обеспечивающая требуемую жесткость, определяется по формуле:

$$h_{\text{min}} = \frac{5R_y \gamma_c l}{24E \gamma_f \left(\frac{f}{l}\right)}, \text{ см,}$$

где  $R_y$ - расчетное сопротивление стального проката толщиной 10-20 мм, МПа;  $\gamma_c$ - коэффициент условий работы затвора;  $l$ - расчетный пролет ригеля, см;  $E$  - модуль упругости стали;  $E = 2,06 \cdot 10^4$  МПа;  $\gamma_f$  - коэффициент надежности по материалу;  $\gamma_f = 1,1$ ;  $(f/l)$ - предельный относительный прогиб ригеля, принимаем в зависимости от назначения затвора, в нашем случае строительный (1/500).

Окончательно высоту сечения ригеля принимают близкой к оптимальной  $h_{\text{опт}}$ , не менее минимальной  $h_{\text{min}}$  и кратной 100 мм (для унификации).

2. Толщину стенки ригеля  $t_\omega$  определяют из расчета ее на срез на опорах, где действует максимальная поперечная сила  $Q$ :

$$t_\omega = \frac{1,5Q \gamma_1 10}{h_{\text{опт}} R_s \gamma_c}, \text{ см.}$$

где  $Q$  - максимальная поперечная сила на опорах.  $Q = R_A = R_B$ , кН;  $h_{\text{опт}}$ - высота ригеля на опоре. Рекомендуется принимать  $h_{\text{опт}} = (0,4-0,65) h$ , см;  $R_s$ - расчетное сопротивление стали срезу, МПа.

$$t_\omega = 7 + 3h/1000, \text{ мм,}$$

где  $h$ - высота ригеля, мм.

В соответствии с конструктивным минимумом толщина стенки принимается  $t_\omega \geq 8$  мм.

3. Зная требуемый момент сопротивления сечения ригеля  $W_x^{TP}$  и размеры стенки  $h_\omega$  и  $t_\omega$  определяем размеры поясов ригеля через момент инерции.

Требуемый момент инерции всего сечения:

$$I_x^{\text{TP}} = \frac{W_x^{\text{TP}} h}{2}, \text{ см}^4.$$

Момент инерции стенки:

$$I_x^{\omega} = t_{\omega} h_{\omega}^3 / 12, \text{ см}^4.$$

Высота стенки  $h_{\omega}$  равна:

$$h_{\omega} = h - 2t_f, \text{ см},$$

где  $t_f$  - толщина пояса ригеля, предварительно принимаемая

$t_f = 3$  см.

Тогда момент инерции, который должен обеспечиваться двумя поясами ригеля, составит:

$$I_x^f = I_x^{\text{TP}} - I_x^{\omega}, \text{ см}^4.$$

С другой стороны, момент инерции двух поясов (без учета момента инерции поясов относительно своих центральных осей) равен:

$$I_x^f = 2b_f t_f (h_{\text{п}}/2)^2, \text{ см}^4,$$

где  $h_{\text{п}}$  - расстояние между осями поясов;  $h_{\text{п}} = h - t_f = h - 3$ ; см.

$$t_f = \frac{2I_x^f}{b_f h_{\text{п}}^2}, \text{ см}.$$

Окончательно принимают толщину пояса ригеля не менее требуемой  $t_f$ . Толщина пояса должна быть не менее толщины стенки ригеля.

Для оптимально подобранного сечения ригеля выполняется условие:  $A_f/A = 0,5$ ;

$$\frac{A_f}{A} = \frac{2b_f t_f}{2b_f t_f + b_{\omega} t_{\omega}} \cong 0,5$$

Для проверки прочности и прогиба ригеля определили момент инерции сечения при принятых размерах стенки ( $b_{\omega}; t_{\omega}$ ) и поясов ( $b_f; t_f$ ) ригеля:

$$I_x = I_x^{\omega} + I_x^f = \left( \frac{t_{\omega} h_{\omega}^3}{12} \right) + 2b_f t_f \left( \frac{h_{\text{п}}}{2} \right)^2, \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления сечения:

$$W_x = 2I_x/h, \text{ см}^3$$

Нормальные напряжения в расчетном сечении ригеля с максимальным изгибающим моментом  $M$ , кН, при моменте сопротивления сечения  $W_x$ , см<sup>3</sup> составил:

$$\sigma_p = M10^3/W_x, \text{ МПа}.$$

Условие прочности при изгибе имеет вид:

$$\sigma_p \leq R_y \gamma_c, \text{ МПа}$$

Относительный прогиб ригеля определяют от действия нормативной нагрузки по формуле:

$$f/l = \frac{5q^n l^3}{384EI_x},$$

где  $q^n$  - нормативная нагрузка на ригель;  $q^n = q/\gamma_f = 148,23/1,1 = 134,76$  кН/м;  $q$  - интенсивность равномерно распределенной нагрузки на ригель;  $l$  - расчетный пролет ригеля, м;  $E$  - модуль упругости стали;  $E = 2,06 \cdot 10^8$  кПа;  $I_x$  - момент инерции сечения ригеля, м<sup>4</sup>.

Относительный прогиб ригеля не должен превышать предельно допустимого:

$$f/l \leq [f/l]$$

Высоту ригелей на опорах  $h_{оп}$  назначают от 0,4 до 0,65 от их высоты  $h$  в середине пролета:

$$h_{оп} = (0,4 - 0,65)h, \text{ см.}$$

Расстояние между осями поясов ригеля в опорной зоне составляет:

$$h_{п}^{оп} = h_{оп} - t_f, \text{ см.}$$

Высота стенки ригеля в опорной зоне:

$$h_{\omega}^{оп} = h_{оп} - 2t_f, \text{ см}$$

Сдвигающее усилие, действующее на участке длиной 1 см на уровне поясных швов в опорной зоне:

$$T = \frac{QS_x^{оп} 10^2}{I_x^{оп}}, \text{ кН/м.}$$

где  $Q$  - расчетная поперечная сила на опоре:  $Q = R_A = R_B$ , кН (см. п. 6.1);  $S_x^{оп}$  - статический момент пояса балки в опорном сечении относительно нейтральной оси:

$$S_x^{оп} = A_f h_{п}^{оп} / 2, \text{ см}^3,$$

$I_x^{оп}$  - момент инерции опорного сечения относительно нейтральной оси:

$$I_x^{оп} = \frac{t_{\omega} (h_{\omega}^{оп})^3}{12} + 2b_f t_f (h_{п}^{оп} / 2)^2, \text{ см}^4.$$

А) Катет углового сварного шва при двусторонней сварке определяют из условия прочности по двум сечениям:

а) по металлу шва:

$$k_f \geq \frac{T}{2\beta_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 10}, \text{ см;}$$

б) по металлу на границе сплавления:

$$k_f \geq \frac{T}{2\beta_z R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c 10}, \text{ см,}$$

где  $R_{wf}$ ,  $R_{wz}$  - расчетные сопротивления соответственно металла углового шва и металла на границе сплавления, МПа;  $\beta_f$ ,  $\beta_z$  - коэффициенты, принимаемые равными:  $\beta_f = 1,1$ ;  $\beta_z = 1,15$  (автоматическая сварка, нижнее положение шва, предел текучести до 580 МПа);  $\gamma_{wf}$ ,  $\gamma_{wz}$  - коэффициенты условий работы шва:  $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 0,85$ ;  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы затвора.

По конструктивным требованиям высота катета сварного шва окончательно назначается не менее расчетных  $k_f$  и не менее  $k_{min}$ .

Расчетная длина шва с одной стороны стыка равна его полной длине за вычетом  $l$  см на непровар:

$$l_w = h_{\omega}^{оп} - 2 \cdot 6 - 1, \text{ см.}$$

Расчетную высоту катета шва определяют по двум сечениям: а) по металлу шва:

$$k_f \geq \frac{R_A}{2\beta_f l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 10}, \text{ см;}$$

б) по металлу на границе сплавления:

$$k_f \geq \frac{T}{2\beta_z l_w R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c 10}, \text{ см;}$$

Окончательно назначают высоту катета шва не менее расчетных значений и не менее конструктивного минимума.

## 6. Фермы продольных связей.

Ферма рассчитывается на нагрузку, равную 40 % от собственного веса затвора. Эту нагрузку считают приложенной в узлах верхнего пояса в виде сосредоточенных сил. Собственный вес стального затвора можно определить по эмпирической формуле:

$$G_3^H = 10k(0,1Wl_0)^n, \text{ кН}$$

где  $W$ - нормативная нагрузка на затвор от гидростатического давления, кН:

$$W = 1/2 \rho_{\text{вг}} g H^2 l_0 10^{-3}$$

$l_0$ -ширина пролета в свету, м;  $k$ ,  $n$  - эмпирические коэффициенты. Для колесных затворов:  $k = 0,12$ ;  $n = 0,71$ .

Расчетная нагрузка на ферму:

$$G_{\text{ф}} = 0,4G_3^H \gamma_{\text{ф}}, \text{ кН}$$

где  $\gamma_{\text{ф}}$ - коэффициент надежности по нагрузке;  $\gamma_{\text{ф}} = 1,1$ .

Количество узлов фермы зависит от количества панелей щита  $n$ . Расчетная нагрузка на каждый, промежуточный узел  $G_{\text{уз}}$  равна:

$$G_{\text{уз}} = G_{\text{ф}}/n, \text{ кН.}$$

Узловая нагрузка на опорах  $G^{\text{оп}}$ :

$$G^{\text{оп}} = 1/2 G_{\text{уз}}, \text{ кН.}$$

Опорные реакции  $R_A$  и  $R_B$  составляют:

$$R_A = R_B = \frac{G_{\text{ф}}}{2}, \text{ кН.}$$

При действии узловой нагрузки элементы фермы работают на центральное растяжение (+) или центральное сжатие (-). Усилия в элементах фермы определяют методом вырезания узлов в порядке их нумерации.

Статический расчет фермы показывает, что нижний пояс фермы (то есть растянутый пояс нижнего ригеля) дополнительно нагружается растягивающим усилием  $N_{3-6}$ . Дополнительное растягивающее напряжение равно:

$$\sigma_{\text{доп}} = 10N_{3-6}/A_{\text{ф}}, \text{ Мпа,}$$

где  $A_{\text{ф}}$  – площадь сечения пояса ригеля,  $A_{\text{ф}} = b_{\text{ф}} t_{\text{ф}}, \text{ см}^2$ .

Суммарное напряжение в нижнем поясе фермы составит:

$$\sigma_{\text{сум}} = \sigma_{\text{р}} + \sigma_{\text{доп}}$$

Прочность растянутого пояса нижнего ригеля проверяется по выражению

$$\sigma_{\text{сум}} \leq R_{\text{у}} \gamma_{\text{с}}, \text{ Мпа}$$

Элементы решетки фермы работают на центральное растяжение или сжатие. Эти элементы обычно проектируют из спаренных уголков. Элементы фермы соединяют в узлах с помощью фасонки. Толщина фасонки  $t_{\text{ф}}$  зависит от максимального усилия в элементах фермы.

Для центрально-растянутых (+) элементов требуемую площадь поперечного сечения определяют из условия прочности:

$$A_{\text{тр}}^{\text{раст}} \geq \frac{N^{\text{раст}} 10}{R_{\text{у}} \gamma_{\text{с}}}, \text{ см}^2,$$

где  $N^{\text{раст}}$  - наибольшее растягивающее усилие в элементах фермы, кН;  $R_{\text{у}}$ - расчетное сопротивление фасонного проката толщиной до 10 мм, МПа;  $\gamma_{\text{с}}$  - коэффициент условий работы, принимаемый для растянутых стержней 0,95.

Минимальное допустимое сечение уголков по конструктивным требованиям 2L63x63x6. По сортаменту по требуемой площади поперечного сечения подбирают спаренные уголки. Для них выписывают значения фактической площади сечения  $A_{22}^{\text{СК}}$ ,  $\text{ см}^2$ , и минимального радиуса инерции  $i_{\text{min}}$

Максимальная гибкость растянутых элементов проверяется для самой длинной панели:

$$\lambda_{\max} = \frac{l_{\text{пан}}}{i_{\min}} < \lambda_{\text{пред}} = 400,$$

где  $l_{\text{пан}}$  - расчетная длина панели, см.

Если максимальная гибкость не превышает предельно допустимой, то все растянутые элементы фермы принимаются из таких же спаренных уголков.

Для центрально-сжатых (-) элементов требуемую площадь поперечного сечения определяют из условия устойчивости:

$$A_{\text{тр}}^{\text{сж}} \geq \frac{N^{\text{сж}}_{10}}{\varphi R_y \gamma_c}, \text{ см}^2,$$

где  $N^{\text{сж}}$  - наибольшее сжимающее усилие в элементах фермы, кН;  $\varphi$  - коэффициент продольного изгиба, принятый предварительно 0,6;  $R_y$  - расчетное сопротивление фасонного проката толщиной до 10 мм, МПа;  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы, для сжатых стержней  $\gamma_c = 0,95$ .

По сортаменту по требуемой площади поперечного сечения с учетом конструктивного минимума подбирают спаренные уголки. Статической площади сечения  $A_{22}^{\text{сж}} > A_{\text{тр}}^{\text{сж}}$ , см<sup>2</sup>, и радиусов инерции  $r_x$  и  $r_y$ , см.

Для подобранного сечения определяем гибкость в плоскости фермы  $\lambda_x$  и из плоскости фермы  $\lambda_y$ . Гибкость не должна превышать предельно допустимую  $\lambda_{\text{пред}} = 150$ .

$$\lambda_x = l_{\text{efx}}/r_x;$$

$$\lambda_y = l_{\text{efy}}/r_y;$$

где  $l_{\text{efx}}, l_{\text{efy}}$  - расчетные длины элемента соответственно в плоскости фермы и из плоскости фермы:

$$l_{\text{efx}} = 0,8 \cdot l, \text{ см};$$

$$l_{\text{efy}} = l, \text{ см}.$$

По наибольшей гибкости ( $\lambda_x$  или  $\lambda_y$ ) уточняют коэффициент  $\varphi_{\min}$ . После этого проверяют устойчивость стержня по формуле:

$$\frac{N^{\text{сж}}_{10}}{\varphi_{\min} A_{22}^{\text{сж}}} \leq R_y \gamma_c, \text{ МПа}.$$

Если условие не выполняется, то принимают сечение из спаренных уголков несколько большего профиля и вновь вычисляют гибкости  $\lambda_x$  и  $\lambda_y$ , по максимальной из них уточняют  $\varphi_{\min}$  и повторяют проверку устойчивости.

Если условие выполняется, то все центрально-сжатые элементы принимают из таких же спаренных уголков.

В процессе эксплуатации затвора на щит, кроме статических, действуют динамические нагрузки. Поэтому сварные швы фермы рекомендуется рассчитывать на усилия, равные несущей способности элементов (по прочности).

Несущая способность центрально-растянутых элементов определяется по формуле:

$$[N^{\text{раст}}] = A_{22}^{\text{сж}} R_y \gamma_c / 10, \text{ кН}.$$

несущая способность центрально-сжатых элементов:

$$[N^{\text{сж}}] = A_{22}^{\text{сж}} R_y \gamma_c / 10, \text{ кН}.$$

Каждый уголок присоединяется к фасонке внахлестку двумя фланговыми швами: по обуху и по перу.

Расчетное усилие [N], равное несущей способности элементов, распределяется между швами обратно пропорционально их расстоянию от оси элемента. Для равнополочных уголков расстояние от центральной оси до обушка равно  $0,3b$ , до пера -  $0,7b$  ( $b$  - ширина полки). Таким образом, усилие, действующее на шов по обушку, равно  $0,7[N]$ ; по перу -  $0,3[N]$ .

Катет шва на пере принимается равным толщине полки уголка  $t$  минус 1 мм:

$$K_f^n = t - 0,1, \text{ см.}$$

Катет шва на обушке принимаем не более  $1,2t$ :

$$k_f^{o6} = 1,2t, \text{ см.}$$

При ручной сварке длины сварных швов по обушку  $l_w^{o6}$  и по перу  $l_w^n$  определяются из условия прочности только по металлу шва:

$$l_w^{o6} = \frac{0,7[N]10}{2\beta_f k_f^{o6} R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 1, \text{ см}$$

$$l_w^n = \frac{0,3[N]10}{2\beta_f k_f^n R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} + 1, \text{ см}$$

где [N] - несущая способность элемента, кН;  $R_{wf}$  - расчетные сопротивления соответственно металла углового шва, МПа.

Для ручной сварки принимаются следующие коэффициенты:

$$\beta_f = 0,7; \gamma_{wf} = 0,85; \gamma_c = 1.$$

По результатам расчетов окончательно принимают наибольшую длину шва по обушку  $l_w^{o6}$  и по перу  $l_w^n$ .

Расчеты выполняют отдельно для центрально-растянутых и для центрально-сжатых элементов фермы.

Далее выполняют конструирование узлов продольной фермы. При конструировании узлов фермы вначале вычерчивают оси элементов, центрируя их в узле. Затем наносят контуры элементов, совмещая центр тяжести сечения с осевой линией.

Элементы обрезают перпендикулярно их оси. Расстояние между соединяемыми элементами в узле должно быть не менее 50 мм для уменьшения остаточных сварочных напряжений.

После нанесения контуров элементов узла на чертеже отмеряют принятые длины сварных швов на обушке и на пере каждого элемента (уголка). Затем намечают контуры фасонки так, чтобы разместить все сварные швы при наименьшем размере фасонки. Следует выбирать наиболее простое очертание: прямоугольник, прямоугольная трапеция, параллелограмм. Углы фасонки должны быть спрятаны между элементами. Прямой край фасонки выпускается за грань пояса фермы на 10-20 мм для размещения сварного шва.

По длине стержней ставят стальные прокладки для обеспечения их совместной работы. Число прокладок по длине стержня должно быть не менее двух, установленных на равном расстоянии друг от друга. Толщина прокладок принимается равной толщине фасонки, ширина прокладки не менее 60 мм, длина принимается на 20 мм больше ширины полки уголка. Прокладки соединяются с уголками сварными швами.

### Заключение

В заключении приводятся результаты по запроектированным основным



конструктивным элементам щита.

### **Список используемой литературы**

Приводится список литературы, использованной в курсовом проекте.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Дукарский, Ю. М.** Инженерные конструкции. Металлические конструкции и конструкции из древесины и пластмасс [Электронный ресурс]: учебник / Ю.М. Дукарский, Ф.В. Расс, О.В. Мареева. – Электрон. текстовые данные. – М. : ИНФРА-М, 2022. – 262 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1862627> – ISBN 978-5-16-012972-3.
2. **Мандриков, А. П.** Примеры расчета металлических конструкций [Электронный ресурс] учебное пособие / А. П. Мандриков – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2022. – 432 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/211232> - ISBN 978-5-8114-1315-7.
3. **Панкова, Т. А.** Проектирование плоского щита поверхностного затвора [Электронный ресурс]: учебное пособие / Т. А. Панкова, О. В. Михеева, С. С. Орлова. - Электрон. текстовые дан. - Саратов: Издательский центр «Наука», 2020. - 80 с. - Режим доступа: <ftp://192.168.7.252/ELBIB/2020/332.pdf> – ISBN 978-5-9999-3386-7.
4. **Цай, Т. Н.** Строительные конструкции. Металлические, каменные, армокаменные конструкции. Конструкции из дерева и пластмасс. Основания и фундаменты [Электронный ресурс] учебник / Т. Н. Цай, М. К. Бородич, А. П. Мандриков – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2022. – 656 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/211235> - ISBN 978-5-8114-1313-3.
5. **ГОСТ 103-2006** Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой. Сортамент.
6. **ГОСТ 19903-2015** Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.
7. **ГОСТ 27772-2015** Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия.
8. **ГОСТ 8239-89** Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент.
9. **ГОСТ 8240-97** Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент.
10. **ГОСТ 82-70** Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент.
11. **ГОСТ 8509 – 93** Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент.
12. **СП 16.13330.2017** Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. Дата введения 28.08.2017. – М., 2017.
13. **СП 20.13330.2016** Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. Дата введения 04.06.2017.

**Приложение 1**

**Варианты заданий на курсовое проектирование (номер задания присваивается индивидуально независимо от номера п/п)**

№ п/п	Ширина пролета, м	Напор, м	Материал
1	10,0	6,0	C255
2	12,0	7,5	C275
3	12,0	6,0	C245
4	11,5	7,5	C255
5	12,0	6,5	C255
6	10,5	6,0	C275
7	11,0	5,5	C255
8	10,0	5,0	C245
9	11,0	7,5	C255
10	12,0	5,5	C255
11	10,0	6,5	C245
12	11,0	6,5	C255
13	11,5	5,0	C255
14	10,0	5,5	C255
15	11,5	5,5	C255
16	10,5	5,0	C245
17	11,5	5,0	C255
18	12,0	9,0	C245
19	10,5	6,0	C255
20	12,5	9,5	C255
21	13,7	8,7	C245
22	12,4	7,0	C245
23	12,7	7,2	C275
24	9,5	8,0	C235
25	10,0	7,5	C255
26	13,7	8,7	C235
27	10,5	7,5	C255
28	10,2	7,2	C235
29	11,5	8,5	C255
30	12,0	8,5	C245

**Приложение 2**  
*Образец титульного листа*

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и  
инженерии имени Н.И. Вавилова**

**Факультет инженерии и природообустройства**

**Кафедра «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК»**

## **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**По дисциплине: «Инженерные конструкции»**

**По теме: «Проектирование плоского щита поверхностного затвора»**

**Обучающийся** \_\_\_\_\_ курса

**Группа** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ф.И.О.

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

**Преподаватель:**

\_\_\_\_\_  
(фамилия )

\_\_\_\_\_  
(подпись)

**Саратов, 202\_\_г.**