

А К А Д Е М І Я Н А У К У С Р Р  
ІНСТИТУТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

---

Серія технічно-довідкова

627.833

ІНЖ. М. ОЛІЙНИК

ДЕРЕВ'ЯНІ ЗАТВОРИ  
ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

ВИДАВНИЦТВО АКАДЕМІЇ НАУК УСРР  
КИЇВ—1936







А К А Д Е М І Я Н А У К У С Р Р  
І Н С Т И Т У Т В О Д Н О Г О Г О С П О Д А Р С Т В А

Серія технічно-довідкова

ІНЖ. М. ОЛІЙНИК

у  
627.82  
0-54

ДЕРЕВ'ЯНІ ЗАТВОРИ  
ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

1008

Ча

✓  
проверено  
1966 г.

И  
0

ВИДАВНИЦТВО АКАДЕМІЇ НАУК УСРР  
КИЇВ—1936



Бібліографічний опис цього видання  
вміщено в „Літопису українського друку”,  
„Картковому репертуарі” та інших покаж-  
чиках Української книжної палати.

Відповід. редактор Є. В. Оппоков  
Коректор В. М. Навроцький  
Випусковий Є. Ц. Каганов

Друкується з розпорядження Академії Наук УСРР  
Неодмінний секретар академік О. В. Палладін.



## ПЕРЕДМОВА

Пропонована читачам робота М. Олійника „Дерев'яні затвори гідротехнічних споруд“ виконана при Інституті водного господарства АН УСРР на завдання Укрдипроводу в 1934 році.

У роботі розглянено питання заміни металічних затворів гідротехнічних споруд дерев'яними і в результаті запропоновано кілька типів затворів. Провівши порівнення дерев'яних затворів як між собою, так і з аналогічними їм металічними затворами, автор наводить і дані їх порівняльної вартості.

Недостатність літератури з питання про дерев'яні затвори надає цій роботі інтересу для інженерно-технічного персоналу і може зробити її дуже корисною при проектуванні дерев'яних затворів для гідротехнічних споруд.

*Зав. Гідротехнічного сектору  
Інституту водного господарства доц. В. Козлов*



## ВІД АВТОРА

За останні роки радянська науково-технічна думка пішла далеко вперед у переозброєнні будівництва. Досягнення СРСР як в теорії, так і в практиці зараз настільки великі, що наша промисловість в деяких напрямках уже випередила промисловість багатьох капіталістичних держав; галузь будівництва дерев'яних споруд і конструкцій є щодо цього однією з найбільш показових.

Основними факторами виключного форсування розвитку дерев'яних конструкцій є: великий масштаб нашого будівництва, вимоги зниження вартості його, скорочення строків будування і зростаюча дефіцитність більшості будівельних матеріалів.

Питання про заміну коштовних і дефіцитних матеріалів дешевими і масовими стало невідкладним; дерев'яні конструкції почали застосовувати в капітальному будівництві країни, замінюючи ними трудомісткі та дорогі металічні, бетонні та залізобетонні конструкції.

Наявність великої лісної бази, розташованої майже по всіх частинах Радянського Союзу, пристосованість дерева до різних місцевих умов капітального будівництва, легкий і простий спосіб заготівлі, транспорту та обробки, достатня міцність і легкість дерев'яних конструкцій—зробили дерево одним з цінних будівельних матеріалів.

Широкому застосуванню дерев'яних конструкцій до певної міри сприяли і науково-дослідні заклади по вивченню дерева та дерев'яних конструкцій поруч з вивченням багатьох інших нових недефіцитних будівельних матеріалів.

Широко розгорнуто винахідництво, об'єднано науково-технічні сили на вишукування нових, більш технічно-раціональних і економічно вигідних методів для дерев'яних з'єднань. Раціоналізовано нові типи врубок (ножничні, трикутникові, трилобові), удосконалено та заведено нормальні нагельні форми, детально вивчено цвяхи, досліджується робота різних шпонок та конструюється зубчато-кільцева шпонка великої потужності. Проведено велику роботу над вивченням старих та вишукування нових форм дерев'яних конструкцій. Надзвичайно широко застосовуються на будівництві нагельні конструкції в двотаврових балочних типах і в гнутих гратчастих та сегментних формах. З'являються нові форми дерев'яних склепінь-оболонки, куполів та башт, запроваджені в будівництво після експериментального дослідження в натурі. Опрацьовано ребристі склепіння-оболонки, проектується тришарнірні арки великих прогонів (12/7)<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Дріб у дужках є посиланням на використану літературу, список якої подано в кінці роботи, при чому чисельник означає порядковий номер за списком, а знаменник—сторінку самого літературного джерела.



У нас уже сконструйовано з дерева багато цивільних та інженерних споруд великих масштабів, як, наприклад, перекриття вокзальних, виставочних приміщень, театрів та інших громадських будівель, містки, естакади, елеватори, силоси, градільні, трубопроводи тощо. Найяскравішим прикладом, школою застосування дерева в гідротехнічному будівництві, є наш велетень—Біломорбуд ім. Сталіна, де радянська технічна реконструкція виявилась якнайбільше.

Всебічне використання водних ресурсів є тепер домінуючим питанням у справі соціалістичного будівництва. Вода, крім безпосереднього її використання, є фактором, що сприяє розвитку нашої промисловості та сільськогосподарства, і тому на чергу будівництва в СРСР висунуто багато об'єктів гідротехнічного порядку,—як проблема Великого Дніпра, малих річок, іригація півдня України та Криму, канали Волга—Москва та Волга—Дон, гідростанції та ставкове будівництво. Дешевина цього будівництва має вирішальне значення, отже тут треба максимально застосувати дерево і замінити ним дорогі та дефіцитні будівельні матеріали (метали, цемент), здешевлюючи цим будівництво.

Дерев'яні затвори для невеликих отворів можна застосовувати виключно в гідротехнічному будівництві. Варто було б своєчасно поставити питання про складання типових проектів і стандартів затворів, що значною мірою раціоналізувало б їх проектування і виготовлення.

Треба відзначити, що досі як практики, так і науково-технічні сили звертали дуже мало уваги на застосування дерева для затворів гідротехнічних споруд.

Щоб стати на користь щодо цього гідротехнічному будівництву, ми і склали цю роботу як перше наближення до розв'язання цієї важливої проблеми.

В нашій роботі опрацьовані такі типи затворів: брусчатий затвір, плоскоригельний на дерев'яних та шпренгельних ригелях, арочний, секторний та сегментний, щитки Буле при відкидних стояках та спицеві затвори.

Питання про підймальні механізми в роботі не розглянено.

Всі схематичні проекти, а також деякі деталі до них, як от конструкції ущільнень, опорних частин, врубок та форм порогових брусків, показані лише як можливі варіанти. Головну увагу звернуто було на конструювання самих затворів, а не допоміжних до них частин.

Для кожного типу затвора подана специфікація матеріалів та виведена вага затвора і кількість дерева та заліза на  $1 \text{ м}^2$  напірної площі, при чому в специфікації включені лише деталі, що стосуються самих затворів не враховуючи деталей у нішах опорних частин (биках, стояках) та флют-бета.

В розділах X—XI наведені орієнтовні відомості про вартість запроєктованих типів дерев'яних затворів і дано порівняння їх як між собою, так і з металічними плоскоригельними. Ефективність та економічність від застосування дерев'яних затворів у гідротехнічних спорудах велика і безсумнівна.



Під час здачі до друку праці з'явилися в продажу дві книжки Водгео з галузі гідротехніки, а саме:

1) Металлические затворы гидротехнических сооружений (технические условия и нормы проектирования). Водгео и Гидроэлектропроект, Москва, 1935.

2) Деревянные плотины (технические условия и нормы проектирования). Водгео и Главстройпром НКТП, Москва, 1935.

Розрахункові норми в цих двох літературних джерелах в основному взяті за ОСТ „Единые нормы строительного проектирования“ і пристосовані до різних випадків гідротехнічного будівництва, залежно від класу споруд, марки матеріалу, умов навантаження тощо. Коефіцієнт на несприятливість умов (елементи споруди в воді або в границях рівня води) взято в 0,7 від основного; за ОСТ цей коефіцієнт беруть 0,6.

Прийняті нами розрахункові дані (див. табл. 1) мало відрізняються від допустимих напруг Водгео, проти яких вони лише трохи знижені, що не має значення в нашому випадку, оскільки виконані в роботі розрахунки наведені з ілюстративною метою.

При детальному проектуванні дерев'яних затворів для конкретного об'єкту слід використовувати зазначені матеріали Водгео, уточнюючи розрахунки за новішими нормативами.



## Розділ I

### Розрахункові норми

#### § 1. Розрахункові напруги для дерева

Норми для розрахунку дані за єдиними нормами будівельного проектування (28/5). Дерев'яні затвори в гідротехнічних спорудах залічені до споруд третього класу. Дерево — сосна марки I та II з тимчасовим опором 600 і 500 кг/см<sup>2</sup>.

Розрахунковий модуль пружності:  $E = 100\,000$  кг/см<sup>2</sup>.

Найбільший допустимий прогин:  $\frac{1}{250} - \frac{1}{400}$  прогону.

Коефіцієнти до основних напруг взято такі:

а) на клас споруд для сосни марки I:  $K_1 = 1,2$ , те ж для марки II:  $K_1 = 1,0$ ;

б) поправки на несприятливість умов (споруди у воді і при змінному рівні):  $K_2 = 0,6$ .

Множачи основні напруги на коефіцієнти  $K_1$  і  $K_2$ , одержуємо такі розрахункові допустимі напруги (в кг/см<sup>2</sup>) для сосни марок I і II (табл. 1):

Таблиця 1

№		Основні напруги	Розрахункові напруги	
			марки I	марки II
1	Розтяг рівномірний . . . . .	110	79	66
2	Стиск рівномірний . . . . .	100	72	60
3	Згин . . . . .	100	79	66
4	Сколювання паралельно до волокон . . .	12	8,5	7
5	„ перпендикулярно до волокон .	6	4,5	3,5
6	Зминання торців . . . . .	80	58	48
7	„ попереk волокон . . . . .	35	25	21
8	„ під шайбами . . . . .	45	32	27

#### § 2. Розрахункові напруги для металічних частин

Для металічних частин у дерев'яних конструкціях, враховуючи запас на ржавіння, прийняті такі допустимі розрахункові напруги:

	кг/см <sup>2</sup>
Розтяг, стиск та згин . . . . .	1000
Розтяг у болтах та подвійних тяжах . . . . .	900
Зріз болтів та заклепок . . . . .	500
Стиск чавунних опорних роликів . . . . .	40



Відповідні дерев'яні та залізні елементи, що працюють на стиск, перевірені на поздовжній згин за нормами ОСТ (28/36).

### § 3. Прийняті коефіцієнти тертя

Коефіцієнти тертя взято такі:

Для ковзання дерева по залізу . . . . .	0,65
„ „ заліза „ „ . . . . .	0,50
Тертя в цапфах або підшипниках заліза по залізу . . . . .	0,20
Тертя кочення заліза по залізу . . . . .	0,10

Вагу 1 м<sup>3</sup> мокрого дерева взято в 900 кг, а води — 1000 кг. Строк служби дерев'яних затворів — 8—10 років.

Всі типи затворів розраховані на найбільш несприятливий випадок, а саме — коли тиск води є лише з верхнього б'єфу при проектному напорі, а з нижнього його зовсім немає, що цілком можливо, наприклад, при ремонті.

## Розділ II

### Затвори брусчатої конструкції

(Схема — лист I)

#### § 1. Пояснення типу брусчатого затвора

Застосування брусчатої конструкції шлюзових воріт (напр., на Віртемберзькій системі) наводить на думку запровадити аналогічні типи затворів до водопропускних отворів у гідротехнічних спорудах. Цей тип затворів привабливий тим, що конструкція його дуже легка і потребує невеликої кількості, до того ж найпростіших, як дерев'яних, так і металічних деталей.

Горизонтальні бруски відповідної товщини, залежно від глибини води з напірного боку, складені один на один і стягнені по висоті болтами з яких два пристосовані для піднімання затвора. Брусчате полотнище закріплене на опорних стояках з подвійних брусків. З низового боку до стояків доданий залізний лист 250 × 8 мм, щоб утворити рівну поверхню і тим забезпечити нормальну роботу опорних роликів, що має виключне значення при маневруванні затвором. Крім опорних роликів до затвора додані чотири напрямні ролики — по два з кожного боку. В нішах опорних частин поставлені рудничні рейки, висотою 8 см, по яких і котяться ролики при опусканні або підніманні затвора.

Бокове протифільтраційне ущільнення запроєктоване з рейок 12 × 5 см, які утримуються між чотирма залізними косинцями 65 × 65 × 8 мм.

Поперечний переріз брусків підібраний з таким розрахунком, щоб кількість їх нумерів була менша і щоб при потребі можна було з великих брусків мати відповідних розмірів менші бруски.

Затвори з брусків можна застосовувати як при дерев'яних, так і при інших опорах (биках, стояках).



Дерев'яні опори мають порівнюючи великі деформації; при них трудно забезпечити перпендикулярну площу дотику рейок і роликів; на це треба зважати при детальному проектуванні, давши відповідні конструкції в нішах опор.

### § 2. Визначення найбільших прогонів

Щоб спростити всі дальші розрахунки, спочатку визначмо моменти опору для брусків з шириною 1 см і стандартною висотою від 5 до 26 см.

$$W = \frac{bh^2}{6} = 0,167h^2$$

Одержані дані зведені в табл. 2.

Таблиця 2

<i>h</i> (см)	<i>h</i> <sup>2</sup> (см <sup>2</sup> )	<i>W</i> = 0,167 <i>h</i> <sup>2</sup> (см <sup>3</sup> )	<i>h</i> (см)	<i>h</i> <sup>2</sup> (см <sup>2</sup> )	<i>W</i> = 0,167 <i>h</i> <sup>2</sup> (см <sup>3</sup> )
5	25	4,2	16	256	42,7
6	36	6,0	17	289	48,2
7	49	8,2	18	324	54,0
8	64	10,7	19	361	60,2
9	81	13,5	20	400	66,7
10	100	16,7	21	441	73,5
11	121	20,7	22	484	80,7
12	144	24,0	23	529	88,2
13	169	28,2	24	576	96,0
14	196	32,7	25	625	104,0
15	225	37,5	26	676	112,7

Для різних напорів *H* метрів та прогонів *l* метрів навантаження на 1 лн.м бруска при ширині його 1 см становитиме:

$$q = H\omega\Delta^1) = H \cdot 0,01 \cdot 1000 = 10 H \text{ кг,}$$

а найбільший момент згину:

$$M_{\text{макс}} = \frac{ql^2}{8} = 1,25 Hl^2 \text{ кг.м} = 125 Hl^2 \text{ кг.см,}$$

де *H* і *l* — величини в метрах.

З другого боку найбільший момент згину для перерізу 1 × 26 см дорівнює:

$$M = nW,$$

де:

*n* = 79 кг/см<sup>2</sup> — допустима напруга на згин;

*W* = 112,7 см<sup>3</sup> — момент опору, взятий з табл. 2.

<sup>1)</sup> У всіх дальших виводах вагу 1 м<sup>3</sup> води  $\Delta = 1 \text{ т}$  не зазначаємо.



Отже

$$M = 79 \cdot 112,7 = 8800 \text{ кг.см}$$

Найбільший прогін при різних напорах  $H$  для бруска висотою 26 см визначиться з рівняння:

$$125 Hl^2 = nW = 8800$$

або

$$l = \sqrt{\frac{M}{125H}} = \sqrt{\frac{70,4}{H}}$$

Розрахунок для визначення максимальних прогонів при середніх напорах 3, 4, 5 м зведений в табл. 3, з якої видно, що затворами брусчатої конструкції можна перекривати отвори середніх розмірів.

Таблиця 3

$H$ (м)	Навантаження на 1 лін.м (кг)	$M_{\text{макс}}$ (кг.см)	$l = \sqrt{\frac{70,4}{H}}$ (м)
3	30	8800	4,83
4	40	8800	4,20
5	50	8800	3,75

Для напору в 3 м найбільший прогін буде кругло 5 м, при збільшенні ж напору, прогін відповідно зменшується: при  $H=4$  м,  $l=4,20$  м; при  $H=5$  м,  $l=3,75$  м.

Коли ж треба перекривати отвори більших розмірів, доводиться застосовувати іншу конструкцію затвора.

З метою дослідження та порівнення було складено схему затвора брусчатої конструкції для напору 4 м та прогону 6 м, при чому в нижній частині, де напруги в одному бруску стандартних розмірів перевищували допустимі, було покладено подвійні бруски. Як виявилось після відповідних підрахунків, такий затвір неконструктивний і не може бути застосований в гідротехнічних спорудах.

### § 3. Приклад затвора брусчатої конструкції

На схемі подана як приклад конструкція брусчатого затвора при  $H=3$  м і  $l=5$  м.

Навантаження на 1 лін. м. якогонебудь бруска при 1 см його ширини і на глибині  $H$  дорівнює:

$$q = 10 H \text{ кг,}$$

а найбільший момент згину:

$$M = \frac{ql^2}{8} = 1,25 Hl^2 = 3125 H \text{ кг.см}$$

З обчисленого моменту згину визначаємо момент опору:

$$W = \frac{8M}{n}$$



де  $n = 79 \text{ кг/см}^2$  — допустима напруга.

За  $W$  (з табл. 2) добираємо брусок потрібної висоти.

Розрахунок для визначення товщини брусків при  $H = 3 \text{ м}$  і  $l = 5 \text{ м}$  зведений в табл. 4.

Таблиця 4

Глибина $H$ (м)	Навантаження $q = 10 H$ (кг)	Момент згину $M = 3125 H$ (кг.см)	Момент опору $W = \frac{M}{n}$ (см <sup>3</sup> )	Висота бруска $h$ (см)
0,5	5	1560	19,5	11
1,0	10	3125	39,1	16
1,5	15	4677	53,5	19
2,0	20	6250	78,5	22
2,5	25	7810	97,7	24
3,0	30	9380	117,0	26

З конструктивних міркувань товщина брусків на схемі взята з великим запасом проти табличних значень.

Залежність між товщиною бруска, напором і прогоном показана на графіку (лист 1).

Напруги в опорних стояках перевірені за наближеною формулою трьох моментів, застосованою інж. Гебелем (8/48).

Стояки приймали як нерозрізні балки на п'яти опорах. Напруги на згин ніде не перевищували допустимих<sup>1)</sup>.

#### § 4. Розрахунок опорних роликів

Тиск води на затвір становить:

$$P = \frac{H^2}{2} \cdot l = 22,5 \text{ т}$$

Через опорні стояки тиск передається на чавунні ролики, яких усього запроектовано 10 — по п'ять з кожного боку, при чому верхні два поставлені з конструктивних міркувань і в розрахунок не введені. Віддаль між роликами (див. схему — лист II) розрахована так, щоб кожен ролик сприймав на себе однаковий тиск води, а саме:

$$\frac{P}{8} = 22500 : 8 = 2815 \text{ кг}$$

Розміри роликів такі: ширина 8 см, діаметр 15 см, вісь — 2,5 см. Площа діаметрального перерізу:

$$\omega = 8 \cdot 15 = 120 \text{ см}^2$$

Напруги на стиск:

$$\sigma = \frac{2815}{120} = 24 \text{ кг/см}^2$$

<sup>1)</sup> Детальний розрахунок нерозрізних стояків поданий в розд. III та IV.



Площа подвійного зрізу осі ролика:

$$2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} = 9,8 \text{ см}^2$$

Напруги на зріз сталльної осі:

$$\tau = \frac{2815}{9,8} = 287 \text{ кг/см}^2$$

Напруги значно менші за допустимі, але зменшувати розмірів роликів та осі не слід з експлуатаційних міркувань, бо ролики не мають реборів і тому при підніманні та опусканні затвора треба мати запас по ширині ролика, а особливо в дерев'яних конструкціях, де не можна мати точного монтажу; в разі великої поведні або пошкодження якого небудь ролика навантаження на ролики, а відповідно і напруги в них, збільшаться.

### § 5. Визначення підйимального зусилля

Сила, потрібна для підймання затвора, складається з таких елементів:

- 1) власна вага самого затвора ( $Q$ );
- 2) сила тертя в бокових ущільненнях ( $F$ );
- 3) сила тертя на опорах ( $R$ );

4) різні непередбачені опори, як от затоплення затвора, замулення тиску льоду та примерзання, спадання затвора з роликів, попадання в пази або в ніші твердих речовин і удари від плавучих тіл.

Враховуючи опори підймання затворів № 1 — 3, одержуємо підйимальне зусилля середнього значення ( $T_c$ ); непередбачені опори неможливо врахувати за якимись певними формулами тому, що вони не сталі і не підлягають певній закономірності; найбільше значення їх буде в перший момент підймання, який для всіх плоских та аналогічних їм затворів якраз і є вирішальним для визначення максимального підйимального зусилля. Деякі видатні фахівці-гідротехніки, наприклад Авісімов, Подарєв та Кулька (16/301, 17/210, 38/145), припускають, що

$$T_{\text{макс}} = 1,5 T_c$$

Вагу затвора беремо з специфікації, доданої в кінці розрахунку кожного типу затвора.

Сила тертя в двох бокових ущільненнях буде:

$$F = 2 \cdot \frac{H^2}{2} \cdot b \cdot f,$$

де:

$H$  — напір у метрах;

$f = 0,65$  — коефіцієнт тертя дерева по залізу;

$b = 0,12 \text{ м}$  — ширина рейки бокового ущільнення, яка для наших прикладів однакова для брусчатих, плоскоригельних та арочного затворів.



Силу тертя на котючих опорах визначаємо за наближеним методом інж. Дмитрієва (11/111):

$$R = \frac{l \cdot m}{2,8} \cdot \varphi,$$

де:

$l$  — прогін затвора в метрах;

$m$  — розрахункова кількість роликів або котків;

$\varphi$  — коефіцієнт, який береться залежно від прогонів і для наших

прикладів (при  $l = 5 - 6$  м) дорівнює  $\frac{1}{30}$  (див. 11/18).

Для прикладу брусчатого затвора при:

$$H = 3,0 \text{ м}; \quad l = 5 \text{ м}; \quad b = 0,12 \text{ м}; \quad m = 8$$

середнє значення підйимального зусилля буде <sup>1)</sup>:

$$T_c = G + F + R = 3,8 + 2 \cdot \frac{3^2}{2} \cdot 0,12 \cdot 0,65 + \frac{5 \cdot 8}{2,8} \cdot \frac{1}{30} = 4,98 \text{ т}$$

$$T_{\text{макс}} = 1,5 \cdot 4,98 = 7,4 \text{ т}$$

### § 6. Розрахунок підйимальних болтів

При підніманні затвір утримується двома перпендикулярними болтами  $d = 25$  мм, робоча площа яких дорівнює:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 = 9,8 \text{ см}^2$$

Отже напруження на розтяг болтів буде:

$$n = \frac{T_{\text{макс}}}{9,8} = 756 \text{ кг/см}^2$$

Враховуючи динамічний характер навантаження, діаметра болтів не зменшуємо.

Болтові головки зминають нижній брус перпендикулярно до волокон.

При допустимій нарузі на зминання дерева під шайбами  $32 \text{ кг/см}^2$  потрібна площа зминання:

$$\omega = \frac{7400}{32} = 233 \text{ см}^2$$

Таку площу можна мати, коли діаметр нижніх шайб дорівнюватиме близько  $13 \text{ см}$ .

### § 7. Перевірка на опускання затворів

Вважаємо, що посадка затвора на флютбет відбувається при нормальному рівні води  $H = 3,0 \text{ м}$ .

<sup>1)</sup> За таким же методом визначене підйимальне зусилля для ригельних та арочного затворів, що мають однаковий принцип маневрування та конструкцію опорних частин. Силу  $R$  точніше можна визначити для кожного затвора окремо за формулою проф. Г. Кулькя (38/137).



Опусканню сприяє лише вага затвора 3,8 т, а протидіють йому:

а) тиск води на затвір знизу по площі нижнього бруска  $0,26 \cdot 5,0 = 1,3 \text{ м}^2$ .

$$P = H \cdot \omega = 3,0 \cdot 1,3 = 3,9 \text{ т}$$

б) сила тертя на опорах (визначена раніш):

$$R = 0,48 \text{ т};$$

в) сила тертя в бокових ущільненнях:

$$F = 0,70 \text{ т}$$

Сумарна протидіюча сила дорівнює:

$$K = P + R + F = 3,9 + 0,48 + 0,70 = 5,08 \text{ т}$$

Для забезпечення нормального опускання затвора необхідно, щоб відношення сили, яка тисне на затвір донизу, до сили, що протидіє опусканню, було не менше 1,25, в противному разі треба застосовувати відповідну притискуючу силу (16/253).

Для нашого випадку:

$$\frac{Q}{K} = \frac{3,8}{5,08} = 0,75 < 1,25$$

і притискуюча сила за проф. Анісімовим (16/253) має бути не менша, ніж

$$5,08 \cdot 1,25 - 3,8 = 2,55 \text{ т}$$

Отже підймальні механізми треба проектувати так, щоб з їх допомогою можна було натискувати на затвір і сприяти його посадці на флютбет.

Як підймальну, так і притискуючу сили можна значно зменшити, виймаючи рейки бокових ущільнень окремо від затворів, а також застосовуючи котки на роликівих підшипниках.

### § 8. Специфікація матеріалів

Дані специфікації матеріалів брусчатого затвора зведені в табл. 5 для дерев'яних і в табл. 6 — для металічних деталей.

Вага дерев'яних частин затвора:  $3,774 \cdot 900 = 3397 \text{ кг}$ .

Повна вага затвора:  $3397 + 401 = 3798 \text{ кг}$ .

Напірна площа затвора:  $3 \cdot 5 = 15 \text{ м}^2$ .

На  $1 \text{ м}^2$  напірної площі потрібно:

а) дерева:  $\frac{3,774}{15} = 0,253 \text{ м}^2$ ;

б) заліза:  $\frac{401}{15} = 26,7 \text{ кг}$ .



Таблиця 5

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечний переріз (см)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м <sup>3</sup> )
1	Горизонтальні бруски . . . . .	13 × 26	5	5	0,889
2	" "	13 × 25	5	3	0,515
3	" "	13 × 24	5	2	0,316
4	" "	13 × 22	5	2	0,300
5	" "	13 × 21	5	2	0,289
6	" "	8 × 19	5	2	0,158
7	" "	8 × 18	5	2	0,152
8	" "	8 × 17	5	2	0,142
9	" "	8 × 16	5	2	0,137
10	" "	8 × 15	5	3	0,189
11	" "	10 × 17	5	1	0,089
12	Бруски опорних стояків . . . . .	13 × 26	3	4	0,405
13	Накладки . . . . .	26 × 10	3	2	0,156
14	Рейки ущільнень . . . . .	5 × 12	3	2	0,036
	Разом . . . . .	—	—	—	3,774

Таблиця 6

№	Назва деталей (метал.)	Переріз або <i>d</i> (мм)	Довжина (м) або ширина (см)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Косинці бокових ущільнень . . . . .	75 × 65 × 8	3,00	4	92
2	Косинці напрямних роликів . . . . .	100 × 80 × 12	0,20	8	23
3	Листи опорних балок . . . . .	250 × 8	2,8	2	83
4	Болти опорних балок . . . . .	<i>d</i> = 15	0,55	104	92
5	Поздовжні болти . . . . .	<i>d</i> = 25	3,10	4	50
6	Опорні та напрямні ролики . . . . .	<i>d</i> = 150	<i>b</i> = 80	14	56
7	Інші дрібні деталі . . . . .	—	—	—	5
	Разом . . . . .	—	—	—	401



Розділ III

Плоский затвір на ригелях з подвійних брусків

(Схема—лист II)

§ 1. Пояснення типу плоскоригельного затвора

Цей варіант затворів запроєктований для напору 3 м і прогону 5 м. Вважаємо, що це є найбільші розміри, які можна допустити для таких затворів. При збільшенні напору чи прогону ригелі повинні бути з брусків великих розмірів і будуть неконструктивні.

Ригелі зроблені з подвійних брусків 22×18 см на дерев'яних шпонках та болтах, обшивка з дощок 20×5 см відповідно укріплена між ригелями. Конструкція опорних частин та ущільнення така, як і в попередньому проєкті. Внизу затвора доданий опорний брусок 26×13 см.

Решта деталей ясна з схеми.

§ 2. Розрахунок ригелів

Запроєктовано чотири ригелі однакового поперечного перерізу, причому з таким розрахунком, що верхній сприймає лише 0,30, а нижній—0,70 від того навантаження, яке припадає на кожний середній ригель (8/132), виходячи з того, що навантаження на верхній і нижній ригелі може збільшитися від удару, тиску льоду, примерзання або замулення. Розміри між осями ригелів показані на схемі.

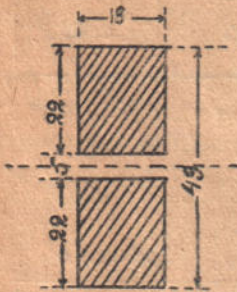


Рис. 1.

Тиск води на 1 лін. м ширини затвора дорівнює:

$$P = \frac{H^2}{2} \cdot 1 = 4,5 \text{ т},$$

а тиск на 1 лін. м середнього ригеля буде:

$$q = 4,5 : (1 + 1 + 0,7 + 0,30) = 1,50 \text{ т}$$

Найбільший момент згину по середині ригеля:

$$M_{\text{макс}} = \frac{ql^2}{8} = 4,70 \text{ т}$$

Момент опору (брутто) для поперечного перерізу ригеля з двох брусків 22×18 см на віддалі 5 см один від одного (рис. 1) дорівнюватиме:

$$W = \frac{b}{6H} (H^3 - h^3) = 7150 \text{ см}^3,$$

а напруги на згин:

$$n = \frac{M}{W} = 66 \text{ кг}$$

Такі напруги для складних брусків є перебільшені проти допустимих.

Складні балки чи бруски завжди мають меншу міцність, ніж суцільні, таких же розмірів, а тому і допустимі напруги для перших треба брати відповідно зменшеними (1/184, 5/165). Переважно для складних балок беруть лише 70% від напруг, допустимих для суцільних балок.



Сколюючі зусилля для кожної половини прогону ригеля сприймають три поздовжні шпонки з брусків  $16 \times 9$  см та п'ять болтів  $d = 15$  мм, з яких два — на опорі.

Опорні реакції ригеля дорівнюватимуть:

$$A = B = \frac{ql}{2} = \frac{1,50 \cdot 5}{2} = 3,7 \text{ т}$$

Найбільші сколюючі напруги (на опорах) визначаємо за формулою:

$$t_{\text{макс}} = \frac{3Q}{2bh}, \quad (1)$$

де:

$Q$  — найбільша перерізуюча сила, рівна опорній реакції 3,7 т (рис. 2, а);

$b = 18$  см — ширина поперечного перерізу;

$h = 49$  см — повна його висота.

Підставляючи значення величин у формулу (1), одержимо:  $t_{\text{макс}} = 6,3$  кг/см<sup>2</sup>,  $t_{\text{мін}} = 0$ , (по середині прогону).

Сколююче зусилля для половини прогону становитиме (рис. 2, б):

$$T = \frac{t_{\text{макс}} \cdot l \cdot b}{2 \cdot 2} = 14175 \text{ кг}$$

П'ять болтів  $d = 15$  мм, при одинарному зрізуванні і допустимій нарузі на зріз  $t = 500$  кг/см<sup>2</sup>, сприймають на себе:

$$T_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 5 \cdot t = 4440 \text{ кг};$$

решта сколюючих зусиль —  $T_2 = T - T_1 = 9735$  кг — буде передана на три шпонки по 3244 кг на кожну. Шпонки врубані в бруски ригелів на 4 см, отже площа змінання ригеля становитиме:

$$\omega = 4 \cdot 18 = 72 \text{ см}^2,$$

а напруги на змінання перпендикулярно до волокон дорівнюватимуть:

$$n = \frac{3244}{72} = 45 \text{ кг/см}^2$$

Напруги на сколювання будуть значно менші від допустимих, тому що у запроєктованих суцільних поздовжніх шпонках маємо велику площу сколювання, що є позитивною особливістю таких шпонок.

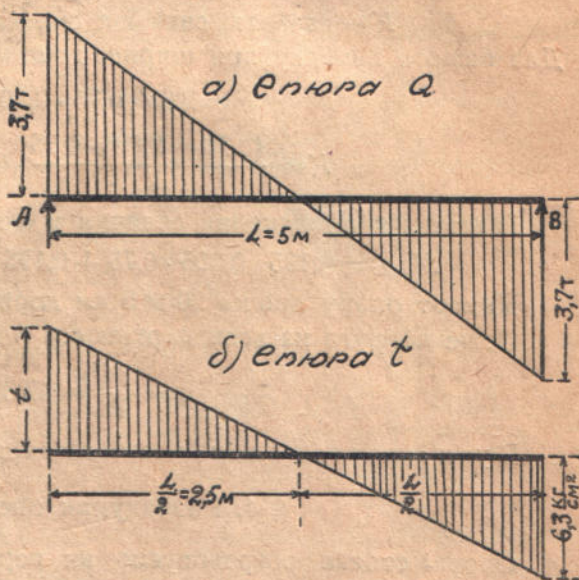


Рис. 2.



### § 3. Перевірка дошок на згин

Дошки вважаємо, як розрізні на опорах, отже найбільше навантаження на обшивку буде між ригелями першим та другим від низу. На 1 лін. м ширини затвора це навантаження можна графічно зобразити у вигляді трапеції з основами 2,03 та 2,78 *m* і висотою 0,75 *m* (див. схему — розріз по *CD*).

Навантаження трапецоїдальної форми розбиваємо на прямокутник і трикутник.

Найбільший момент згину знаходимо за наближеною формулою, застосованою інж. Гебелем (8/38):

$$M_{\text{макс}} = 0,125 Pl + 0,128 Kl, \quad (2)$$

де:  $l = 0,75$  *m* — віддаль між опорними точками;

$P$  — навантаження від силового прямокутника (в тоннах);

$K$  — навантаження від силового трикутника (в тоннах).

Для нашого випадку при ширині дошки 20 *см*:

$$P = 2,03 \cdot 0,75 \cdot 0,20 = 0,305 \text{ т}$$

$$K = \frac{(2,78 - 2,03) \cdot 0,75}{2} \cdot 0,75 \cdot 0,20 = 0,056 \text{ т}$$

Підставляючи значення величин у формулу (2), одержуємо:

$$M_{\text{макс}} = 0,125 \cdot 0,305 \cdot 0,75 + 0,128 \cdot 0,056 \cdot 0,75 = 0,041 \text{ т.м}$$

Момент опору дошки  $20 \times 5$  *см* дорівнюватиме 83 *см*<sup>3</sup>.

Отже напруга на згин дорівнює:

$$n = \frac{M}{W} = 49,5 \text{ кг/см}^2$$

В усіх інших панелях по висоті затвора напруги в дошках будуть менші.

### § 4. Розрахунок опорних стояків

Опорні стояки розраховуємо як нерозрізні балки на п'яти опорах за теоремою трьох моментів, застосованою інж. Гебелем для трапецоїдальних навантажень (8/48).

Тиск на один стояк дорівнює:

$$P = \frac{H^2}{2} \cdot \frac{l}{2} = 11,25 \text{ т}$$

Для спрощення розрахунку допускаємо крайні ролики на кінцях опорних стояків; тоді навантаження на стояк графічно можна подати у вигляді прямокутного трикутника (рис. 3), у якого один бік дорівнює 3 *m* (висота затвора), а другий — 7,5 *m* (інтенсивність навантаження внизу стояка при напорі 3 *m* і прогоні 5 *m*).

Рівняння для визначення опорних моментів будуть такі:

$$1) M_1 l_1 + 2M_2 (l_1 + l_2) + M_3 l_2 = -\frac{1}{4} K_1 l_1^2 - \frac{1}{4} (P_2 + K_2) l_2^2$$

$$2) M_2 l_2 + 2M_3 (l_2 + l_3) + M_4 l_3 = -\frac{1}{4} (P_2 + K_2) l_2^2 - \frac{1}{4} (P_3 + K_3) l_3^2$$



У цих виразах:

$M_1, M_2, M_3, M_4$  — відповідні опорні моменти;

$l$  — віддаль між опорними точками в метрах;

$P$  — навантаження від силових прямокутників в тоннах;

$K$  — навантаження від силових трикутників в тоннах.

Для нашого прикладу значення цих величин такі:

$$l_1 = 1,34 \text{ м} \quad P_1 = 0 \quad K_1 = \frac{1,34 \cdot 3,36}{2} = 2,25 \text{ т}$$

$$l_2 = 0,69 \text{ м} \quad P_2 = 0,69 \cdot 3,36 = 2,32 \text{ т} \quad K_2 = \frac{0,69 \cdot 1,7}{2} = 0,59 \text{ т}$$

$$l_3 = 0,97 \text{ м} \quad P_3 = 0,97 \cdot 5,06 = 4,91 \text{ т} \quad K_3 = \frac{0,97 \cdot 1,44}{2} = 1,18 \text{ т}$$

$$\Sigma l = 3,00 \text{ м}$$

$$\Sigma P + \Sigma K = 11,25 \text{ т}$$

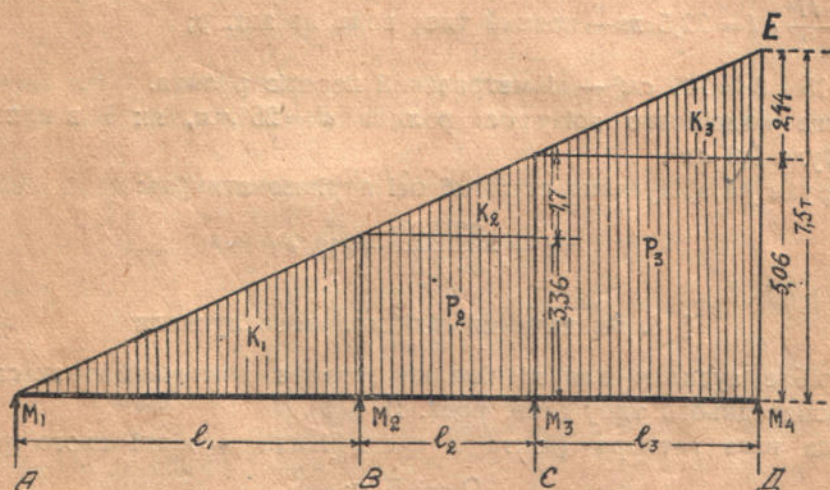


Рис. 3.

Крайні опорні моменти  $M_1 = M_4 = 0$ .

Підставляючи значення величин у формули (1) і (2), після перетворення одержимо:

$$M_3 = -0,502 \text{ т. м} - 50200 \text{ кг.см}$$

$$M_2 = -0,168 \text{ т. м} - 16800 \text{ кг.см}$$

Отже найбільший від'ємний момент буде проти другого від низу ролика.

Стояки запроектовані з двох брусків  $26 \times 13 \text{ см}$ , при чому поперечний переріз їх на опорних точках ослаблено врубкою ригелів глибиною  $4 \text{ см}$  та болтовими дірками  $d = 15 \text{ мм}$

Момент опору (нетто) дорівнюватиме <sup>1)</sup>:

<sup>1)</sup> Брусків з верхнього боку  $26 \times 10 \text{ см}$  та залізних виковків (листа і косинців) в розрахунок не вводимо.



$$W = 2 \frac{bh^2}{6} = 2100 \text{ см}^3,$$

а найбільші напруги у стояках на згин становитимуть:

$$n = \frac{M}{W} = 24 \text{ кг/см}^2$$

### § 5. Розрахунок роликів

Ролики, діаметром 15 см та шириною 8 см, в кількості 8 штук, прикріплені до опорних стояків. Припускаючи, що тиск води розподіляється рівномірно на всі ролики, приблизну напругу на стиск по діаметральному перерізу ролика одержимо таку:

$$\sigma = \frac{P}{8\omega} = 24 \text{ кг/см}^2,$$

де:

$$P = \frac{H^2}{2} \cdot l = 22,5 \text{ т} — \text{повний тиск води на затвір};$$

$$\omega = 15 \cdot 8 = 120 \text{ см}^2 — \text{діаметральний переріз ролика.}$$

Площа подвійного зрізу осі ролика  $d = 25 \text{ мм}$ , як і в попередній схемі, буде  $9,8 \text{ см}^2$ .

Напруги на зрізування сталюї осі дорівнюватимуть:

$$t = \frac{22500}{8 \cdot 9,8} = 312 \text{ кг}$$

### § 6. Визначення підймального зусилля

Потрібне зусилля для піднімання затвора визначаємо так само, як і для попереднього типу (див. розд. II, § 5).

Повна вага затвора (взята з специфікації в кінці цього розділу)

$$Q = 3,5 \text{ т};$$

$$m = 8 — \text{кількість роликів};$$

$$l = 5 \text{ м};$$

$$H = 3 \text{ м};$$

$$\varphi = \frac{1}{30};$$

$$T_c = Q + F + R = 4,68 \text{ т};$$

$$T_{\text{макс}} = 1,5 \cdot 4,68 = 7,02 \text{ т}$$

### § 7. Розрахунок тяжів для піднімання затвора

Затвір піднімають двома тяжами з залізних полос  $6 \times 0,8 \text{ см}$ , пропущеними по шпонках між двома верхніми ригелями. Площа поперечного перерізу чотирьох тяжових полос ослаблених двома болтами  $d = 15 \text{ мм}$ , дорівнюватиме:

$$\omega = 6 \cdot 0,8 \cdot 4 - 1,5 \cdot 0,8 = 14,4 \text{ см}^2,$$



напруги в тяжах на розтяг будуть:

$$n = \frac{7020}{14,4} = 488 \text{ кг/см}^2$$

Кожний тяж прикріплений до ригелів та шпонок шістьма болтами  $d = 15$  мм. Площа подвійного зрізу болтів дорівнює:

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 2 \cdot 6 = 21 \text{ см}^2;$$

Отже напруги на зріз болтів становитимуть:

$$t = \frac{7030}{21} = 342 \text{ кг/см}^2$$

Хоч напруги в тяжах та болтах значно менші від допустимих, але, зважаючи на динамічність навантаження, розмірів їх не зменшуємо.

### § 8. Перевірка на опускання затвора

Робимо перевірку на опускання при проектному напорі  $H = 3$  м.

Опусканню сприяє лише вага затвора 3,5 т, а протидіють сили такої самої величини, як і в попередньому проекті:

а) тиск води знизу на опорний брус, шириною 26 см:

$$P = 0,26 \cdot 5 \cdot 3,0 = 3,9 \text{ т};$$

б) сила тертя на роликівих опорах:

$$R = 0,48 \text{ т};$$

в) сила тертя в бокових ущільненнях:

$$F = 0,70 \text{ т}^1)$$

Сумарна протидіюча сила буде:

$$K = P + R + F = 5,08 \text{ т}$$

$$\frac{Q}{K} = \frac{3,5}{5,08} = 0,69 < 1,25$$

Отже для посадки затвора на флютбет потрібна притискуюча сила, менша за

$$5,08 \cdot 1,25 - 3,5 = 2,85 \text{ т}$$

Підймальні механізми слід проектувати так, щоб ними можна було притискати на затвір і сприяти його посадці на флютбет.

### § 9. Специфікація матеріалів

Дані специфікації матеріалів плоскоригельного затвора з подвійних брусів наведені в табл. 7 — для дерев'яних і в таблиці 8 — для металічних деталей.

<sup>1)</sup> Значення сил  $R$  та  $F$  взято з попереднього прикладу (див. розд. II, § 7).



Таблиця 7

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечний переріз (см)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м <sup>3</sup> )
1	Дошки для обшивки . . . . .	20×5	3	27	0,810
2	Ригелі з брусків . . . . .	22×18	5,4	8	1,650
3	Шпонки з брусків . . . . .	16×9	3	4	0,163
4	Бруски опорних стояків . . . . .	26×13	3	4	0,468
5	" " "	26×10	3	2	0,156
6	Опорний нижній брусок . . . . .	26×10	5,4	1	0,185
7	Рейки ущільнень . . . . .	12×5	3	2	0,036
	Разом . . . . .	—	—	—	3,504

Таблиця 8

№	Назва деталей (метал.)	Поперечний переріз або d (мм)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Рівнобокі косинці . . . . .	65×65×8	3	4	92
2	" " " . . . . .	100×80×12	0,18	8	20
3	Тяжі для піднімання . . . . .	60×8	1,6	4	24
4	Листи опорних стояків . . . . .	250×8	2,8	2	83
5	Болти d=15—20 мм та довжиною 35—70 мм (орієнтовно) . . . . .	—	—	90	64
6	Напрямні та опорні ролики . . . . .	d=150	0,08	12	48
7	Інші дрібні деталі . . . . .	—	—	—	5
	Разом . . . . .	—	—	—	336

Вага дерев'яних частин затвора:  $3,504 \cdot 900 = 3154$  кг.

Повна вага затвора:  $3154 + 336 = 3490$  кг = 3,5 т.

Напірна площа затвора:  $3 \cdot 5 = 15$  м<sup>2</sup>.

На 1 м<sup>2</sup> напірної площі потрібно:

а) дерева:  $\frac{3,504}{15} = 0,234$  м<sup>2</sup>;

б) заліза:  $\frac{336}{15} = 22,4$  кг.



Розділ IV

Плоский затвір на шпренгельних ригелях

(Схема — лист III)

§ 1. Пояснення типу затвора

Варіант плоскоригельного затвора з металічними шпренгельми запроєктований для напору 4 м та прогону (віддаль між опорними стояками) 6 м.

Тиск води передається через дощану обшивку на чотири ригелі, розставлені по висоті затвора за таким же принципом, як і в попередньому варіанті, а саме: верхній ригель сприймає лише 0,30, а нижній — 0,70 від навантаження на кожний середній ригель (8/132). Прогін ригеля поділений стояками на три панелі: крайні — по 1,75 і середні — 2,5 м. Шпренгелі — з листового заліза, стояки — з швелерів № 8. На тяжах укріплені стяжні муфти для регулювання довжини їх, в зв'язку з осушкою, розбуханням та деформаціями затвора.

Конструкція опорних частин і бокових ущільнень та порогового бруска аналогічна з попереднім варіантом і ясна з схеми.

§ 2. Розрахунок шпренгельного ригеля (рис. 4)

Розрахункові дані такі:

Тиск води на 1 лін. м затвора:

$$P = \frac{H^2}{2} \cdot 1 = 8,0 \text{ т}$$

Навантаження на 1 лін. м кожного середнього ригеля:

$$q = \frac{8,0}{2 + 0,30 + 0,70} = 2,64 \text{ т}$$

Реакції опор:

$$A = B = \frac{ql}{2} = 7,92 \text{ т}$$

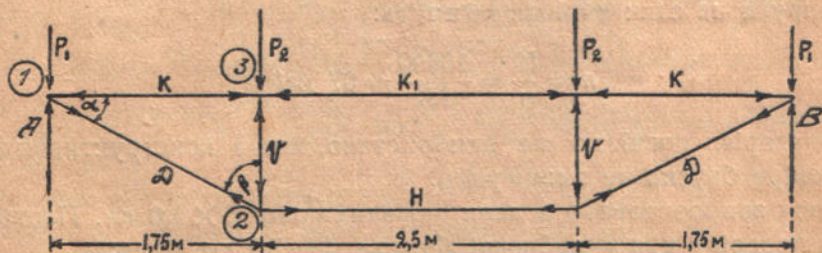


Рис. 4.

Величини кутів нахилу шпренгеля до горизонталі та вертикалі:

$$\alpha = 27^\circ 30' ; \cos \alpha = 0,887$$

$$\beta = 62^\circ 30' ; \cos \beta = 0,462$$



Довжина елементів:

$$K = 1,75 \text{ м}; D = 1,97 \text{ м}; V = 0,91 \text{ м та } H = 2,5 \text{ м}$$

Рівномірно розподілене навантаження на ригель заміняємо силами у вузлах 1 і 3:

$$P_1 = 2,64 \cdot \frac{1,75}{2} = 2,31 \text{ т}$$

$$P_2 = 2,64 \cdot \frac{1,75 + 2,5}{2} = 5,61 \text{ т}$$

Дерев'яна частина ригеля і залізни стояки працюють на стиск, а підкоси та тяжі — на розтяг. Зусилля в елементах визначаємо аналітично (2/63), беручи суму проєкцій зусиль на осі  $X$  та  $Y$  для вузлів 1, 2 і 3 лівої половини ригеля.

Вузол 1:

$$\sum Y = A - P_1 - D \cos \beta = 0$$

$$D = \frac{5,61}{0,462} = 12,15 \text{ т}$$

$$\sum X = D \cos \alpha - K = 0$$

$$K = 12,15 \cdot 0,887 = 10,8 \text{ т}$$

Вузол 2:

$$\sum Y = V - P_2 = 0$$

$$V = 5,61 \text{ т}$$

Вузол 3:

$$\sum X = -D \cos \alpha + H = 0$$

$$H = 10,8 \text{ т}$$

Дерев'яна частина ригеля запроектована з бруска  $18 \times 12 \text{ см}$ . Площа перерізу, при ослабленні двома болтами  $d = 1,5 \text{ см}$ , буде:

$$\omega = 18 \cdot 12 - 18 \cdot 1,5 \cdot 2 = 162 \text{ см}^2;$$

отже напруги на стик дорівнюватимуть:

$$n = \frac{K}{\omega} = \frac{10800}{162} = 67 \text{ кг/см}^2$$

Хоч матеріал повністю не використано, але з конструктивних міркувань розміри бруска не зменшуємо.

Підкоси запроектовано з двох залізних полос  $8 \times 1,0 \text{ см}$ . Площа поперечного перерізу при ослабленні болтом  $d = 2,0 \text{ см}$ , буде:

$$\omega = 8 \cdot 1,02 - 2,0 \cdot 1,0 \cdot 2 = 12,0 \text{ см}^2;$$

отже напруги на розтяг дорівнюватимуть:

$$n = \frac{D}{\omega} = 1010 \text{ кг/см}^2$$



До вузлів підкоси прикріплені чотири болтами  $d = 2$  см. Площа подвійного зрізу болтів буде:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 \cdot 4 = 25 \text{ см}^2$$

Отже напруги на зріз болтів становитимуть:

$$t = \frac{\Delta}{\omega} = 486 \text{ кг/см}^2$$

Тяжі запроєктовані з чотирьох залізних полос  $8 \times 6$  см.

При ослабленні перерізу одним болтом  $d = 2$  см площа поперечного перерізу тяжів буде  $12,0 \text{ см}^2$  і тоді напруги в тяжах на розтяг дорівнюватимуть:

$$n = \frac{H}{\omega} = 900 \text{ кг/см}^2$$

Стояки запроєктовані з швелера № 8, площа перерізу якого враховуючи ослаблення одним болтом  $d = 2$  см, буде:

$$\omega = 11,85 - 0,9 \cdot 2 = 10 \text{ см}^2;$$

Отже напруги на стиск дорівнюватимуть:

$$n = \frac{V}{\omega} = 561 \text{ кг/см}^2$$

У вузлах стояк прикріплений двома болтами  $d = 2$  см; площа подвійного зрізу болтів:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 \cdot 2 = 12,56 \text{ см}^2,$$

а напруги в болтах на зріз:

$$t = \frac{5610}{12,56} = 447 \text{ кг/см}^2$$

Перевірка стояка на поздовжній згин.

Найменший момент інерції швелера № 8:  $I_{\min} = 48,4 \text{ см}^4$ .

Площа перерізу (брутто):  $\omega = 11,85 \text{ см}^2$ .

Радіус інерції:  $r = \sqrt{\frac{I}{\omega}} = \sqrt{\frac{48,4}{11,85}} = 2,02 \text{ см}^2$ .

Гнучкість елемента:  $S = \frac{l}{r} \cong 42$  де  $l$  — розрахункова довжина елемента в сантиметрах.

З таблиць (24/163) знаходимо:  $\varphi = 0,77$ .

Напруги на поздовжній згин дорівнюватимуть:

$$n = \frac{5610}{\varphi \omega} = 617 \text{ кг/см}^2$$

Розрахунок інших частин, як от: дощаної обшивки, опорних стояків та роликів, зроблений, як і для попереднього типу; напруги ніде не перевищують допустимих.



### § 3. Визначення підйимального зусилля

Для визначення підйимального зусилля (див. розд. II, § 5) маємо такі дані:

- 1) вага затвора  $Q = 3,92 \text{ т}$ ;
- 2) напір  $H = 4 \text{ м}$ ;
- 3) прогін  $l = 6 \text{ м}$ ;
- 4) кількість опорних роликів  $m = 8 \text{ шт.}$ ;
- 5) коефіцієнт  $\varphi = \frac{1}{30}$ .

Підставляючи значення цих величин у відповідні формули (див. розд. II, § 5), маємо:

$$T_c = Q + F + R = 5,74 \text{ т};$$

$$T_{\text{макс}} = 1,5 \cdot 5 \cdot 74 = 8,6 \text{ т}$$

Тяжі для піднімання запроєктовані з чотирьох залізних полос  $6 \times 0,8 \text{ см}$ , площа перерізу яких, враховуючи ослаблення двома болтами  $d = 18 \text{ мм}$ , буде:

$$\omega = 6 \cdot 0,8 \cdot 4 - 1,8 \cdot 0,8 \cdot 4 = 13,4 \text{ см}^2,$$

а напруги на розтяг тяжів:

$$n = 8600 : 13,4 = 642 \text{ кг/см}^2$$

Тяжі прикріплені до двох верхніх ригелів чотирма болтами  $d = 18 \text{ мм}$ . Площа подвійного зрізу болтів:

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} \cdot 4 \cdot 2 = 24 \text{ см}^2$$

Напруги в болтах на зріз будуть:

$$t = 8600 : 24 = 358 \text{ кг/см}^2$$

### § 4. Перевірка опускання затвора

Перевірку на опускання затвора робимо при нормальному напорі  $4 \text{ м}$ . Тиск води на затвір знизу по площі бруска ущільнення буде:

$$P = 0,20 \cdot 6,0 \cdot 4,0 = 4,8 \text{ т}$$

Сили тертя на роликах та в бокових ущільненнях, визначені раніш, дорівнюють:

$$R = 0,57 \text{ т}; \quad F = 1,25 \text{ т}$$

Сумарна протидіюча сила

$$K = 4,80 + 0,57 + 1,25 = 6,62 \text{ т}$$

$$\frac{Q}{K} = \frac{3,92}{6,62} = 0,59 < 1,25 \text{ (див. 16/253).}$$

Притискуюча сила має бути не менша за:

$$6,62 \cdot 1,25 - 3,92 = 4,36 \text{ т}$$

Підйимальну та притискуючу сили можна зменшити на  $1,25 \text{ т}$ , коли рейки бокових ущільнень виймати та опускати окремо від затвора.



### § 5. Специфікація матеріалів

Дані специфікації матеріалів плоского затвора на шпренгельних ригелях зведені в табл. 9 для дерев'яних і в табл. 10 — для металічних деталей.

Таблиця 9

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечн. переріз (см)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м <sup>3</sup> )
1	Обшивка з дощок . . . . .	20 × 5	4,0	32	1,28
2	Бруски до ригелів . . . . .	18 × 12	6,3	4	0,544
3	Брусок ущільнення у порога . . . . .	0,22 × 16	6,3	1	0,222
4	Рейки бокових ущільнень . . . . .	12 × 5	4	2	0,048
5	Верхній відбійний брусок . . . . .	20 × 12	6,3	1	0,151
6	Брусок на торцях дощок . . . . .	18 × 12	6,3	1	0,136
7	Бруски опорних стояків з нижнього боку . . . . .	26 × 13	4,0	4	0,541
8	Те ж з верхнього боку . . . . .	26 × 10	4,0	2	0,250
9	Бруски для заповнення просівів на опорних стояках . . . . .	26 × 12	різн.	6	0,206
	Разом . . . . .	—	—	—	3,378
				З них: дощок . . . . .	1,280
				брусків . . . . .	2,098

Таблиця 10

№	Назва деталей (метал.)	Поперечний переріз або $d$ (мм)	Довжина (м) або ширина (см)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Полосове залізо для підкосів . . . . .	80 × 10	2,10	16	211
2	Те ж для затяжок . . . . .	80 × 10	1,20	16	121
3	Швелери для стояків . . . . .	№ 8	0,85	8	63
4	Полосове залізо для тяжів . . . . .	60 × 8	2,40	4	37
5	Косинці до рейок бокових ущільнень . . . . .	65 × 65 × 8	4,0	4	127
6	Косинці до напрямних роликів . . . . .	110 × 80 × 12	0,18	8	20
7	Листове залізо до опорних стояків . . . . .	250 × 8	3,8	2	120
8	Болти . . . . .	$d = 20$	0,15	96	64
9	Болти . . . . .	$d = 15$	0,7—0,3	70	65
10	Напрямні та опорні ролики . . . . .	$d = 150$	$b = 80$	12	48
11	Цвяхи та інші дрібні деталі . . . . .	—	—	—	16
	Разом . . . . .	—	—	—	882



Напірна площа:  $4 \cdot 6 = 24 \text{ м}^2$ .

Вага дерев'яних частин:  $3,378 \cdot 900 = 3040 \text{ кг}$ .

Повна вага затвора:  $Q = 3040 + 882 = 3922 \text{ кг} = 3,92 \text{ т}$ .

На  $1 \text{ м}^2$  напірної площі потрібно:

а) дерева:  $\frac{3,378}{24} = 0,141 \text{ м}^3$ ;

б) заліза:  $\frac{882}{24} = 36,8 \text{ кг}$ .

## Розділ V

### Арочний затвір

(Схема — лист IV)

#### § 1. Пояснення типу арочного затвора

Тип арочного дерев'яного затвора цілком новий і вперше попадає на сторінки гідротехнічної літератури.

На підставі літературних даних та практики застосування арочних конструкцій в багатьох галузях будівництва ми вважаємо можливим запровадити затвір арочного типу і в гідротехнічному будівництві. Ця конструкція затвора, порівнюючи з іншими, потребує менше як дерева, так і дефіцитного матеріалу — заліза (див. табл. 23 і 24).

Основною хвибою арочного затвора є великі труднощі в конструюванні опорних вузлів, стояків та сполучення останніх з дощаною обшивкою та затяжками; це питання, власно, і визначає можливість застосування арочних затворів для значних напорів та прогонів. Крім того розрахунок та виготовлення арочного затвора складніші від усіх інших типів: утруднюється вигинання арок за певним шаблоном, — чим пологіша арка, тим легше надати дощаній обшивці потрібної форми.

Для арочного типу дерев'яного затвора найбільшим напором можна вважати 4—5 м, а прогоном — 6—8 м.

#### § 2. Метод розрахунку арочного затвора (рис. 5)

Арку розраховуємо як двошарнірну<sup>1)</sup>. При гідростатичному перпендикулярному до обшивки тиску момент згину в будьякому перерізі арки дорівнює нулеві (6/380). Реакції опор визначаються за формулою:

$$A = B = \frac{q l}{2},$$

де:

$q$  — рівномірно розподілене навантаження на 1 лін. м арки;

$l$  — прогін.

<sup>1)</sup> При наявності на прогоні арки трьох брусчатих діафрагм, злучених з обшивкою та затяжками, можна було б провадити розрахунок арки як конструкції параболічної форми, що дало б незначні розходження з нашими розрахунками.



Розтягальне зусилля в затяжці (розпір) дорівнює:

$$H = \frac{q l^2}{8f},$$

де  $f$  — стріла підйому арки.

Нормальне зусилля, що стискує верхній пояс арки (дошану обшивку), визначиться за формулою:

$$N = \frac{q l^2}{8f \cos \alpha}$$

Величина кута  $\alpha$  для нашого випадку змінюється в границях від 0 (посередині арки) до  $18^\circ$  (на опорах), а відповідно до цього і  $\cos \alpha$  зменшується від 1 до 0,951; отже найменше нормальне зусилля буде посередині арки, а найбільше — коло опор. Для пологих арок  $\cos \alpha$  є величина, близька до одиниці, і тому можна (з незначним розходженням проти дійсних значень) нормальну силу вважати величиною сталою по всьому прольоту арки (1/417, 3/76) і дорівнювати її розповорі, отже:

$$N = H = \frac{q l^2}{8}$$

### § 3. Розрахункові дані

Для прикладу запроєктовано арочний затвір при таких даних (рис. 5):

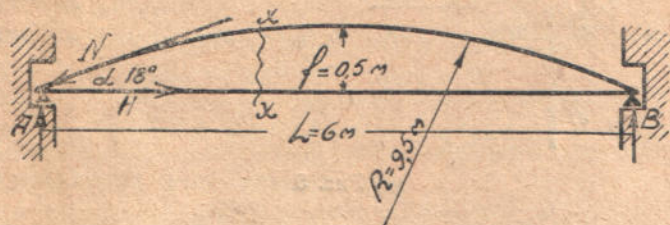


Рис. 5.

$l = 6$  м — віддаль між опорами, прогін;

$H = 3$  м — проектний напір;

$f = \frac{1}{12} l = 0,5$  м — стріла підйому;

$\alpha = 18^\circ$  — кут нахилу обшивки коло опор.

Арку накреслено по колу радіусом 9,5 м.

При такому співвідношенні радіуса до стріли підйому, ординати арочного сегмента відповідають рівнянню параболи такого вигляду:

$$y = \frac{4f}{l^2} \cdot (l - x)$$

Деталі конструкції затвора видно із схеми.



#### § 4. Розрахунок затяжки

Інтенсивність навантаження на 1 *лін. м* прогону арочного затвора дорівнюватиме:

$$q = \frac{H^2}{2} \cdot 1 = \frac{3^2}{2} \cdot 1 = 4,5 \text{ т}$$

Отже на всі затяжки припадає розтягальне зусилля;

$$H = \frac{ql^2}{8} = 40,5 \text{ т}$$

Запроектовано п'ять затяжок з брусків  $24 \times 18 \text{ см}$ , при чому верхня затяжка дана з конструктивних міркувань і в розрахунок не введена. По

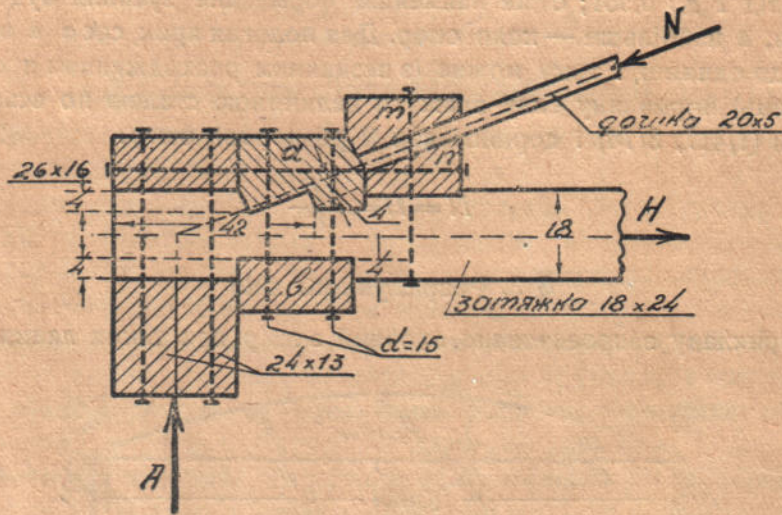


Рис. 6.

висоті затвора затяжки розподілені так, щоб кожна з них сприймала однакове зусилля, а саме:

$$\frac{H}{4} = \frac{40,5}{4} = 10,125 \text{ т} = 10125 \text{ кг}$$

Відаль між затяжками показана на схемі (розріз по *CD*).

Найбільше ослаблення поперечного перерізу затяжки маємо коло опорних вузлів, в місцях сполучення затяжки з двома брусчатими накладками *a* і *b*; бруски врубані в затяжку на глибину 4 *см* і стягнуті двома болтати  $d = 15 \text{ мм}$  (див. рис. 6 і на схемі деталь опорного вузла).

Площа поперечного перерізу (нетто) в цьому місці становить:

$$F = 24 \cdot 10 - 24 \cdot 1,5 = 204 \text{ см}^2;$$

отже найбільша напруга на розтяг буде:

$$n = \frac{10125}{204} = 50 \text{ кг/см}^2$$



В опорні (стоякові) бруски затяжка врубана на 4 см з обох боків і стягнена двома болтами  $d = 20$  мм.

Площа сколювання затяжки коло опор буде:

$$F = 26 \cdot 24 \cdot 2 + 16 \cdot 24 - 4 \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 1622 \text{ см}^2,$$

напруги на сколювання:

$$t = \frac{10125}{1622} = 6,3 \text{ кг/см}^2$$

Крім того торці врубок в затяжці витримують напруги на зминання. З боку бруска  $a$  у затяжці два косі зуби, глибиною по 4 см, і з боку бруска  $b$  звичайна прирубка такої ж глибини. Площа зминання дорівнює:

$$F = 24 \cdot 4 \cdot 3 = 288 \text{ см}^2$$

Напруги на зминання торців будуть:

$$n = 10125 : 288 = 35 \text{ кг/см}^2$$

### § 5. Розрахунок дощаної обшивки

Дошки аркової обшивки сприймають на себе нормальні зусилля, що збільшуються по висоті затвора і в міру наближення від середини прогону до опор. Розрахунок провадимо на найбільше нормальне зусилля, тобто приймаючи  $\cos \alpha = 0,951$ .

Інтенсивність навантаження на 1 лінійний метр при глибині  $H_x$  на елемент дошки висотою 1 см визначиться за формулою:

$$q = H_x \cdot 0,01 \cdot 1,0 = 0,01 H_x \text{ т} = 10 H_x \text{ кг на 1 лінійний метр}$$

нормальне зусилля на цей елемент буде:

$$N_x \text{ макс} = \frac{q l^2}{8 f \cos \alpha} = 94,74 H_x \text{ кг}$$

Підставляючи цифрові значення в формулу для визначення нормальної сили, знаходимо останню при різних глибинах.

Розрахункову товщину дошки ( $d$ ), при ширині  $b = 1$  см і при допустимій нарузі на стиск  $n = 72 \text{ кг/см}^2$ , визначимо з рівняння:

$$d = \frac{N_x}{n b} = 1,315 H_x \text{ см}$$

В цих виразах величина  $H_x$  взята в метрах.

Розрахунок товщини дощок для аркового затвора зведений в табл. 11.

З конструктивних міркувань при розрахунку дощок на поздовжній згин товщина обшивки значно збільшена проти розрахункових величин, а саме: знизу на висоті 0,80 м поставлено по дві дошки, товщиною по 5 см, а вище — по одній дошці такої ж товщини.



Таблиця 11

Напір $H_x$ (м)	Навантаження $q = 10 H_x$ (кг)	Нормальна сила $N_x = 94,74 H_x$ (кг)	Розрахункова товщина дошки (см)	Прийнята товщина (см)	Напруга в дошках (кг/см <sup>2</sup> )
0,5	5	48	0,7	5	9,6
1,0	10	95	1,3	5	19,0
1,5	15	142	2,0	5	24,4
2,0	20	190	2,6	5	38,0
2,2	22	208	2,9	5	41,7
2,5	25	233	3,3	10	23,3
3,0	35	284	4,0	10	28,4

Дошки шириною 20 см сполучені між собою в чверть та стягнені болтами  $d=15$  мм з брусчатию діафрагмами і затяжками; коло опор кінці дошок стиснені двома трапецоїдальної форми накладками  $m$  і  $n$  і при-тягнені болтами до затяжки (див. рис. 6).

Напруги в дошках будуть такі.

На 1 см висоти двох найнижчих дошок, тобто на площу поперечного перерізу  $1 \cdot 5 \cdot 2 = 10$  см<sup>2</sup> припадає нормальне зусилля  $N=284$  кг.

Отже напруга становитиме:

$$n = \frac{N}{10} = 29 \text{ кг/см}^2$$

На висоті 2,2 м від верху затвора, де обшивка з двох дошок уже переходить на одну, напруги на стиск дорівнюватимуть:

$$n = \frac{208}{5} = 42 \text{ кг/см}^2$$

В усіх інших місцях по висоті затвора напруги на стиск будуть менші

Кінці дошок опираються в брусчату подушку і змінюються під впли-вом нормального зусилля  $N$ . Напруги на зминання торців будуть такі ж самі, як і напруги на стиск: на глибині 2,2 мм—42 кг/см<sup>2</sup> і в самому низу затвора—29 кг/см<sup>2</sup>.

Найнижчу дошку перевіряємо на поздовжній згин. Розрахункова дов-жина елемента

$$l = K \cdot S = 75 \text{ см},$$

де:

$K=0,562$ —коєфіцієнт за таблицею ОСТ;

$S=135$  см—найбільша довжина дуги між діафрагмами.

Для двох дошок шириною 20 см та товщиною 5 см найменший момент інерції дорівнює:

$$I = 2 \cdot \frac{bh^3}{12} = 417 \text{ см}^4$$



Площа поперечного перерізу:  $F = 20 \cdot 5 \cdot 2 = 200 \text{ см}^2$ .

Радіус інерції:  $r = \sqrt{\frac{I}{F}} \cong 1,44 \text{ см}$ .

Гнучкість елемента  $\frac{l}{r} \cong 50$ .

Для такого випадку за таблицею „Єдиних норм“ коефіцієнти дорівнюватимуть:

$$\varphi = 0,65; K_2 = \frac{I}{\varphi} = 1,54$$

Нормальне зусилля на нижню дошку дорівнює:

$$N = 284 \cdot 20 = 5680 \text{ кг},$$

а напруги на стиск при поздовжньому згині будуть:

$$n = \frac{K_2 N}{F} = 44 \text{ кг/см}^2$$

Якщо б внизу дати одну дошку  $20 \times 5 \text{ см}$ , то напруги були б значно більші за допустимі.

На глибині 2,2 м

$$N = 208 \cdot 20 = 4160 \text{ кг},$$

а напруги на стиск при поздовжньому згині:

$$n = \frac{1,54 \cdot 4160}{10} = 64 \text{ кг/см}^2$$

## § 6. Розрахунок опорних стояків

Опорні стояки запроектовані з трьох брусків: двох нижніх в  $24 \times 13 \text{ см}$  і одного верхнього — в  $26 \times 16 \text{ см}$ . Між брусками — просвіт в  $10 \text{ см}$ , заповнений брусками  $10 \times 26 \text{ см}$  відповідної довжини.

Залізні виковки, опорні та напрямні ролики запроектовані так само, як і в попередніх схемах

Повний тиск на опорний стояк дорівнює:

$$P = \frac{pl}{2} = 13,5 \text{ т},$$

$p = 4,5 \text{ т}$  — інтенсивність тиску води на 1 лін. м ширини затвора;

$l = 6 \text{ м}$  — розрахунковий прогін.

Цей тиск графічно можна подати (рис. 7) у вигляді прямокутного трикутника, в якого висота дорівнює  $9 \text{ м}$  (інтенсивність тиску на нижню частину стояка), а основа —  $3 \text{ м}$  (висота затвора, напір).

Моменти згину для стояка визначаємо, як і для нерозрізної балки на двох опорах навантажену за законом трикутника, за наближеним методом трьох моментів, застосованим інж. Гебелем (8/48).



Крайні опорні точки для спрощення розрахунку припускаємо на кінцях балки.

Рівняння моментів матимуть такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & M_{n-2} \cdot l_{n-1} + 2 M_{n-1} (l_{n-1} + l_n) + M_n l_n = \\
 & = -\frac{1}{4} (K_{n-1} + P_{n-1}) \cdot l_{n-1}^2 - \frac{1}{4} (P_n + K_n) l_n^2 \\
 2) \quad & M_{n-1} l_n + 2 M_n (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} l_{n+1} = \\
 & = -\frac{1}{4} (P_n + K_n) \cdot l_n^2 - \frac{1}{4} (P_{n+1} + K_{n+1}) l_{n+1}^2 \\
 3) \quad & M_n l_{n+1} + 2 M_{n+1} (l_{n+1} + l_{n+2}) + M_{n+2} l_{n+2} = \\
 & = -\frac{1}{4} (P_{n+1} + K_{n+1}) l_{n+1}^2 - \frac{1}{4} (P_{n+2} + K_{n+2}) l_{n+2}^2
 \end{aligned}$$

В цих формулах:

$l$  — віддаль між опорами в метрах;

$P$  — навантаження від силових прямокутників у тоннах;

$K$  — навантаження від силових трикутників в тоннах.

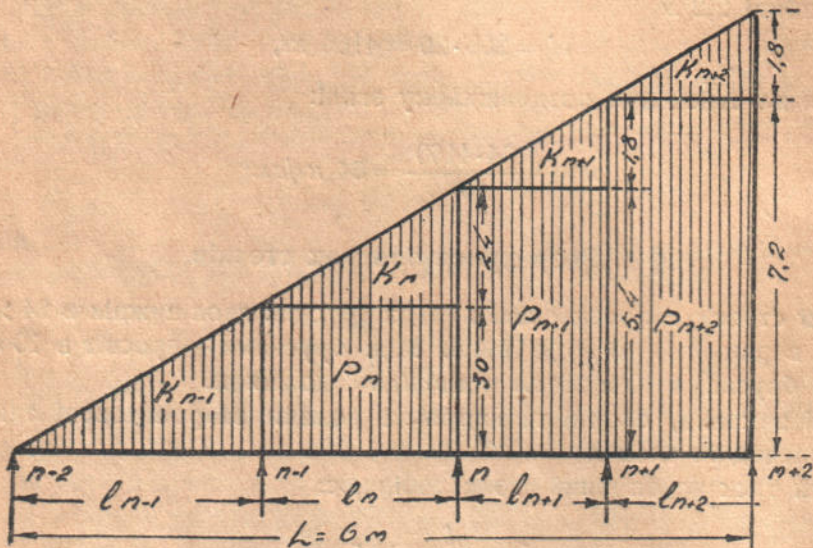


Рис. 7.

Для нашого випадку значення цих величин такі:

$l_{n-1} = 1,0 \text{ м}$	$P_{n-1} = 0$	$K_{n-1} = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 3,0 = 1,5 \text{ т}$
$l_n = 0,80 \text{ „}$	$P_n = 0,8 \cdot 3,0 = 2,4 \text{ т}$	$K_n = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 2,4 = 0,96 \text{ „}$
$l_{n+1} = 0,60 \text{ „}$	$P_{n+1} = 0,6 \cdot 5,4 = 3,24 \text{ „}$	$K_{n+1} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,8 = 0,54 \text{ „}$
$l_{n+2} = 0,60 \text{ „}$	$P_{n+2} = 0,6 \cdot 7,2 = 4,32 \text{ „}$	$K_{n+2} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,8 = 0,54 \text{ „}$

$$\Sigma l = 3,00 \text{ м} \quad \Sigma P + \Sigma K = 13,5 \text{ т}$$



Підставляючи цифрові значення  $l$ ,  $P$  і  $K$  у формули (1), (2) і (3) і зваживши на те, що  $M_{n-2} = M_{n+2} = 0$ , після ряду перетворень одержимо:

$$M_n = -0,30 \text{ т.м}$$

$$M_{n-1} = -0,31 \text{ т.м}$$

$$M_{n+1} = -0,37 \text{ т.м}$$

Отже найбільший опорний момент буде проти другого знизу ролика, де опірні бруски ослаблені врубками і болтовими дірками.

Момент опору двох брусків у цьому місці становитиме:  $W = 150 \text{ см}^3$ .

Напруга на згин опорних стояків (не враховуючи металічних викоків) дорівнюватиме:

$$n = \frac{M}{W} = 25 \text{ кг/см}^2$$

Стояки можна було б брати з брусків менших розмірів, але з конструктивних міркувань ми лишаємо попередні.

### § 7. Розрахунок опорних роликів

Тиск води на затвір через опорні стояки передається на чавунні ролики. Всього поставлено десять роликів — по п'ять з кожного боку, при чому верхні два дані з конструктивних міркувань і в розрахунок не введені. Віддаль між осями роликів показана на схемі (розріз по  $EF$ ). Припускаємо, що на кожний ролик припадає однакове зусилля:

$$\frac{13,5}{4} = 3,39 \text{ т}$$

де 13,5 — тиск на опорний стояк. Ширина ролика — 8 см, діаметр — 15 см; діаметр осі — 2,5 см. Площа діаметрального перерізу ролика становитиме:

$$8 \times 15 = 120 \text{ см}^2$$

Отже напруги на стиск роликів дорівнюватимуть:

$$\sigma = \frac{3390}{120} = 28,5 \text{ кг/см}^2$$

Площа подвійного зрізу осі ролика дорівнює:

$$\omega = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} = 9,8 \text{ см}^2,$$

а напруги на зріз осі:

$$t = \frac{3390}{9,8} = 348 \text{ кг/см}^2$$

### § 8. Визначення підйимального зусилля

Зусилля, потрібне для підймання арочного затвора, визначаємо так само, як і для всіх попередніх плоских затворів.



Одержуємо такі дані:

Вага затвора:  $Q = 4,6 \text{ т}$ .

Напір:  $H = 3 \text{ м}$ .

Прогін:  $l = 6 \text{ м}$ .

Кількість розрахункових роликів  $m = 8 \text{ шт}$ .

Коефіцієнт  $\varphi = \frac{1}{30}$ .

Ширина рейки ущільнення:  $b = 0,12 \text{ м}$ .

Коефіцієнт тертя дерева по залізу:  $f = 0,65$ .

Отже

$$T_c = Q + F + R = 5,87 \text{ т}$$

$$T_{\text{макс}} = 1,5 \cdot 5,87 = 8,8 \text{ т}$$

### § 9. Перевірка опускання затвора

Припускаємо, що опускання затвора провадиться при проектному рівні води.

Вниз діє лише вага затвора  $Q = 4,6 \text{ т}$ , а протидіють їй такі сили:

а) тиск води на затвір знизу по площі приблизно  $1,6 \text{ м}^2$ :

$$P = 1,6 \cdot 3,0 = 4,8 \text{ т};$$

в) сила тертя на опорних роликах (визначена раніш):

$$R = 0,57;$$

с) сила тертя в двох бокових ущільненнях:

$$F = 0,70 \text{ т}$$

Сумарна протидіюча опусканню затвора сила дорівнюватиме:

$$K = P + R + F = 6,07 \text{ т}$$

$$\frac{Q}{K} = 0,76 < 1,25$$

Отже притискуюча сила повинна бути не менша:

$$6,07 \cdot 1,25 = 7,59 \text{ т}$$

При опусканні затвора при напорі  $H = 2 \text{ м}$  потрібна притискуюча сила лише в  $0,5 \text{ т}$ .

Величину притискуючої сили можна зменшити, опускаючи рейки бокових ущільнень окремо від затвора.

### § 10. Специфікація матеріалів

Дані специфікації матеріалів арочного затвора зведені в табл. 12 — для дерев'яних і в табл. 13 — для металічних деталей.

Вага дерев'яних деталей:  $4,586 \cdot 900 = 4127 \text{ кг}$ .

Вага затвора:  $Q = 4127 + 485 = 4612 \text{ кг} = 4,6 \text{ т}$ .

Напірна площа:  $3 \cdot 6 = 18 \text{ м}^2$ .

На  $1 \text{ м}^2$  напірної площі потрібно:

$$\text{а) дерева: } \frac{4,586}{18} = 0,254 \text{ м}^3; \quad \text{б) металу: } \frac{485}{18} = 26,9 \text{ кг.}$$



Таблиця 12

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечн. переріз (см)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м <sup>3</sup> )
1	Дошки для арочної обшивки . . . . .	20 × 5	5,20	19	0,988
2	Затяжки з брусків . . . . .	24 × 18	6,26	5	1,352
3	Бруски для діафрагм . . . . .	22 × 16	3	6	0,595
4	Накладки з брусків . . . . .	16 × 13	3	3	0,187
5	„ трапеціодального перерізу . . .	$\frac{13+6}{2} \cdot 16$	3	2	0,148
6	Прокладки . . . . .	$\frac{13+6}{2} \cdot 16$	3	2	0,094
7	Бруски . . . . .	10 × 22	3	2	0,136
8	„ для упирання дошок . . . . .	26 × 16	3	2	0,250
9	„ опорних стояків . . . . .	24 × 13	3	4	0,370
10	„ . . . . .	26 × 16	3	2	0,250
11	„ для заповнення просівів на опорах	26 × 10	різна	8	0,088
12	Брусок нижнього ущільнення . . . . .	16 × 12	1,2	4	0,092
13	Рейки бокових ущільнень . . . . .	12 × 5	3	2	0,036
	Разом . . . . .	—	—	—	4,586
				3 них: дошок . . .	0,990
				брусків . . .	3,596

Таблиця 13

№	Назва деталей (метал.)	Поперечний переріз або $d$ (мм)	Довжина (м) або товщина (мм)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Листи опорних стояків . . . . .	250 × 8	2,8	2	83
2	Косинці до ущільнень . . . . .	65 × 65 × 8	3	4	92
3	„ напрямних роликів . . . . .	100 × 80 × 12	0,20	8	23
4	Опорні та напрямні ролики . . . . .	$d = 150$	$b = 80$	14	56
5	Болти різні . . . . .	$d = 15 - 20$	0,20—0,70	164	190
6	Тяжі для піднімання . . . . .	60 × 8	1,20	4	19
7	Цвяхи та різні дрібні деталі . . . . .	—	—	—	22
	Разом . . . . .	—	—	—	485



Розділ VI

**Секторний затвір з плоскою дощаною обшивкою**

(Схема — лист V)

**§ 1. Переваги секторних затворів**

Як видно з розглянутих схем плоских затворів, тиск води значно збільшує зусилля, потрібне для маневрування затвором. Щоб уникнути цього і були винайдені секторні та сегментні типи затворів, в яких застосовано обертовий спосіб піднімання, в наслідок чого велике гальмуюче зусилля в опорних частинах, яке є в плоских затворах, замінене на незначні сили тертя в підшипниках горизонтальної осі секторних та сегментних затворів. Особливо помітні результати цієї заміни в затворах з циліндричною обшивкою, в яких тиск води напрямлений по радіусах і зовсім не впливає на величину підйимального зусилля.

Конструкція секторного дерев'яного затвора вперше опрацьована у нас в Средазводхозі в 1925 р. і вперше застосована на Керкінському каналі для напору 2,4 м і прогону 3,7 м. Там же був розроблений і тип мішаної конструкції — металічний остов і дерев'яна обшивка, таксамо призначений для малих напорів та прогонів (13/82). В експлуатації секторні дерев'яні затвори себе виправдали; на 1 м<sup>2</sup> напірної площі припадало 0,20 м<sup>3</sup> дерева. При більших напорах та прогонах застосовувати цей тип затвора трудно тому, що для сектора потрібна суцільна вісь (вал) великих розмірів. Проте цих труднощів можна уникнути, застосовуючи відповідні тяжі або шпренгелі з заліза, які розвантажували б вісь, або ставити підшипники коло самих ніг ригельних ферм.

**§ 2. Приклади секторного затвора**

Для прикладу, після ряду попередніх розрахунків, запроєктовано дерев'яний секторний затвір при таких даних (рис. 8):

- 1)  $H = 3$  м — проектний напір;
- 2)  $l = 6$  м — розрахунковий прогін;
- 3)  $a = 0,20$  м — перевищення осі затвора над рівнем води;
- 4)  $\tau = 19^\circ$  — кут нахилу напірної площі до вертикалі;
- 5)  $\varphi = 33^\circ 30'$  — центральний кут сектора;
- 6)  $\alpha = 2^\circ 10'$  — кут нахилу верхньої ригельної ноги до горизонту;
- 7)  $\beta = 35^\circ 40'$  — кут від нижньої ригельної ноги до горизонту;
- 8)  $\gamma = 54^\circ 20'$  — кут від нижньої ригельної ноги до вертикалі;
- 9)  $r = 5,5$  м — довжина ригельних ніг сектора;
- 10)  $\rho = 0,8$  м,  $r = 4,4$  м — віддаль центра ваги затвора від осі по бісектрисі центрального кута;
- 11)  $bd = 3,2$  м — довжина напірної грані;
- 11)  $n = H \operatorname{tg} 19^\circ = 1,03$  м — горизонтальна проекція напірної грані;
- 13)  $m = r \sin \gamma = 4,46$  м — горизонтальна проекція нижньої ригельної ноги.

Остов затвора запроєктований з трьох ригельних ферм з круглого лісу  $d = 22$  см, пов'язаних між собою схватками в потрібних напрямках; ферми



спираються на вал  $d = 26$  м, до якого прикріплені болтами та залізними хомутами.

На віддалі 1 м поставлені стояки з брусків  $20 \times 12$  см укріплені до ригельних ферм врубками та болтами. Бокове ущільнення як можливий варіант запроєктоване з залізного листа товщиною 5 мм, вигнутого по

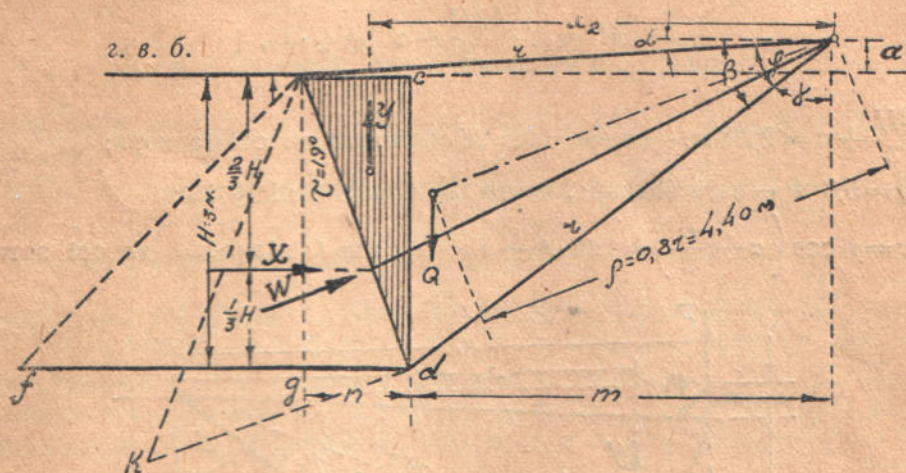


Рис. 8.

кругу  $d = 8$  см і спертого на залізні крюки (див. фасад з верхнього боку). Металічний лист ущільнення ковзається по залізній обшивці на зрубних стінках.

Дерев'яний вал на кінці має сталеві наконечники і повертається в такому самому циліндрі, заправленому в дубові вкладні між чотирма опорними палями (див. деталь підшипника). Опори з паль запороєктовані окремо від греблі, щоб тиск води на затвір передавався лише на ці опори, а не відбивався на тілі самої греблі, ослабляючи її, і щоб, крім того, аварія з затвором або опорними частинами не вплинула на греблю. Решта розмірів і деталей конструкції зрозуміла із схеми.

### § 3. Перевірка на стійкість затвора

Повний тиск води, напрямлений перпендикулярно до напірної площі  $bd$ , графічно показаний трикутником  $bdk$  (рис. 8), дорівнює:

$$W = \frac{bd \cdot dk}{2} \cdot l = 28,8 \text{ м}^4$$

Ця сила розкладається на дві складові:  $X$  та  $Y$ ; перша (горизонтальна) притискує затвір до флутбета, а друга (перпендикулярна) прямує до підняття затвора вгору.

$$X = \frac{bd \cdot df}{2} \cdot l = \frac{H^2}{2} \cdot l = 27 \text{ м}$$

<sup>1)</sup> Ці розрахунки зведені за методом інж. О. Ш. Штрека (7/25), при чому результати одержано однакові.



$$Y = \frac{dc \cdot bc}{2} \cdot l = \frac{H^2 \operatorname{tg} \alpha}{2} \cdot l = 9,3 \text{ м}$$

Сили  $W$ ,  $X$  та  $Y$  прикладені в центрах ваги відповідних трикутників. Момент, що притискує затвір до флютбета (рис. 9), дорівнює:

$$M_1 = X \cdot \left( \frac{2H}{3} + a \right) + Q \cdot x_3,$$

де:

$\frac{2H}{3} + a = 2,20 \text{ м}$  — плече сили  $X$  відносно до осі затвора;

$Q = 5,3 \text{ т}$  — вага затвора, взята з специфікації (§ 10);

$x = \rho \cos \left( \alpha + \frac{\varphi}{2} \right) = 4,16 \text{ м}$  — плече сили  $Q$  відносно до осі затвора.

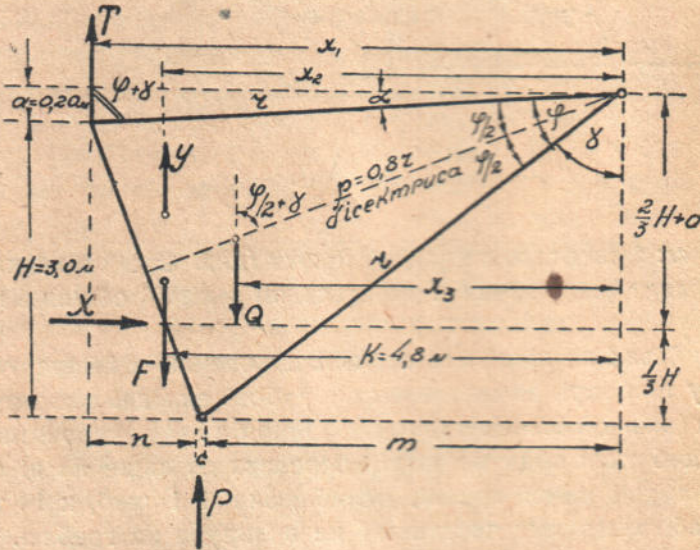


Рис. 9.

Підставляючи значення цих величин, одержуємо:

$$M_1 = 27,0 \cdot 2,20 + 5,3 \cdot 4,16 = 80,2 \text{ т.м}$$

Момент, який прямує до підняття затвора вгору, буде дорівнювати:

$$M_2 = Y \cdot x_2 + P \cdot t,$$

$x_2 = 4,53 \text{ м}$  — плече сили  $Y$  відносно до осі затвора;

$P$  — фільтраційний тиск на нижній брус ущільнення;

$t = 4,46 \text{ м}$  — плече сили  $P$  відносно до осі затвора.

При напорі 3 м, прогоні 6 м, ширині нижнього бруска ущільнення  $c = 0,20 \text{ м}$  фільтраційний тиск становитиме:

$$P = 3,0 \cdot 6,0 \cdot 0,2 = 3,6 \text{ т}$$

Отже

$$M_2 = 9,3 \cdot 4,53 + 3,6 \cdot 4,46 = 58,1 \text{ т.м}$$



Коефіцієнт стійкості затвора дорівнюватиме:

$$\eta = \frac{M_1}{M_2} = 1,30 > 1,25$$

Стійкість затвора на флутбеті цілком забезпечена (16/253).

#### § 4. Визначення підйимального зусилля

Найбільше зусилля, потрібне для піднімання затвора, визначаємо за формулою:

$$T_{\text{макс}} = 1,5 (T_1 + T_2 + T_3),$$

де:

1,5 — потрібний коефіцієнт запасу;

$T_1, T_2, T_3$  — відповідні частини від повного підйимального зусилля, що перемагають опори від власної ваги затвора, опори тертя в підшипниках осі затвора і опори тертя в бокових ущільненнях.

Найбільше значення підйимального зусилля буде в перший момент піднімання, тобто при  $H = 3,0$  м (рис. 9).

$T_1$  визначаємо з такого рівняння моментів:

$$T_1 \cdot x_1 = Q \cdot x_3,$$

де  $x_1 = r \cos(\varphi + \gamma) = 5,5 \cos 87^\circ 50' = 5,40$  м — плече підйимального зусилля відносно до осі затвора; решта величин мають попередні значення. Отже

$$T_1 = \frac{Q \cdot x_3}{x_1} = 3,86 \text{ т}$$

Сила тертя в підшипниках ( $R$ ) залежить від сили повного тиску води на затвір, і її можна визначити за формулою проф. Каліновича або Кулька (27/420, 38/138):

$$R = fWr_1 = 0,75 \text{ т},$$

де:

$f = 0,20$  — коефіцієнт тертя в підшипниках;

$W = 28,8$  т — повиний тиск води на затвір;

$r_1 = 0,13$  м — радіус вала.

Підставляючи значення величин, одержуємо:

$$T_2 = \frac{R}{x_1} = 0,139 \text{ т}$$

Найбільшу ширину дотику металічного листа ущільнення беремо  $b = 2$  см. При  $H = 3$  м, довжині напірної грані  $bd = 3,2$  м і коефіцієнті тертя заліза по залілу  $f = 0,5$  сила тертя в бокових ущільненнях становитиме:

$$F = \frac{2 \cdot 3 \cdot 3,2}{2} \cdot 0,02 \cdot 0,5 = 0,096 \text{ т}$$



Припускаємо, що ця сила прикладена на  $\frac{1}{3}H$  від низу і має плече відносно до осі затвора  $k = m + \frac{n}{3} = 4,8$  м. Тоді  $T_3$  визначиться з рівняння:

$$T_3 \cdot x_1 - E \cdot k = 0$$

$$T_3 = \frac{F \cdot k}{x_1} = 0,088 \text{ т}$$

Повне підймальне зусилля буде:

$$T_{\text{макс}} = 1,5 (3,86 + 0,139 + 0,088) = 6,10 \text{ т}$$

### § 5. Перевірка опускання затвора

Посадці затвора на флютбет сприяє лише момент від ваги затвора:

$$M_Q = 5,0 \cdot 5,4 = 27,0 \text{ т.м},$$

а протидіють — моменти від визначених раніш сил, а саме:

а) від сили тертя в підшипниках:

$$M_R = R \cdot r_1 = 0,1 \text{ т.м};$$

б) від сили тертя в бокових ущільненнях:

$$M_F = F \left( m + \frac{1}{3}n \right) = 0,46 \text{ т.м};$$

в) від сили тиску на затвір знизу:

$$M_P = P \cdot m = 16,0 \text{ т.м}$$

Сумарний момент, що протидіє опусканню затвора, дорівнюватиме:

$$M_K = M_R + M_F + M_P = 16,56 \text{ т.м}$$

Відношення моментів маємо:

$$\frac{M_Q}{M_K} = 1,63 > 1,25$$

Отже спускання затвора можливе без притискуючої сили при найнесприятливіших умовах.

### § 6. Розрахунок обшивки

Тиск за законом трапеції на 1 лін. м найнижчої дошки  $20 \times 5$  см дорівнює:

$$q = \frac{3,0 + 2,8}{2} \cdot 0,20 = 0,58 \text{ т}$$

Дошки приймаємо як суцільні балки на багатьох опорах. Отже найбільший момент згину посередині панелі буде:

$$M_{\text{макс}} = \frac{q l^2}{10} = 0,058 \text{ т.м} = 5800 \text{ кг. см},$$



момент опору:

$$W = \frac{bd^2}{6} = 83 \text{ см}^3,$$

а найбільша напруга на згин:

$$n = \frac{M}{W} = 70 \text{ кг/см}^2$$

У верхній частині обшивки треба покласти дві дошки або брусок, щоб мати запас міцності на випадок ударів або тиску льоду.

### § 7. Розрахунок стояків

Стояки приймаємо як двопрогінні балки, розрізані на опорах, проти ригелів, де переріз стояків ослаблений врубками та болтовими дірками. Довжина стояків AC (рис. 10) дорівнює:

$$AC = \frac{H}{\cos 19^\circ} = 3,20 \text{ м}$$

$$l_1 = 2,1 \text{ м}; \quad l_2 = 1,1 \text{ м}$$

При віддалі між стояками в 1 м повний тиск води за законом трикутника на 1 лін. м затвора, такий самий, як і на стояк:

$$P = \frac{3,0 \cdot 3,2}{2} = 4,8 \text{ т},$$

при чому: тиск на верхню частину стояка (силовий трикутник)  $K_1 = 2,1 \text{ т}$ , тиск на нижню частину (силовий трикутник)  $K_2 = 0,55 \text{ т}$  і (силова трапеція)  $P_2 = 2,2 \text{ т}$ .

Найбільші моменти згину визначаємо за наближеною формулою, застосованою ніж. Гебелем (8/37):

а) для прогону AB:

$$M_1 = 0,128 K_1 l_1 = 0,564 \text{ т. м};$$

б) для прогону BC:

$$M_2 = 0,125 P_2 l_2 + 0,128 K_2 l_2 = 0,38 \text{ т. м}$$

Точніше ці моменти згину можна обчислити за формулами акад. К. Симінського (3/14).

Момент опору для стояка з бруска  $20 \times 12 \text{ см}$  (більший бік в напрямі тиску) дорівнює:

$$W = \frac{bd^2}{6} = 800 \text{ см}^3$$

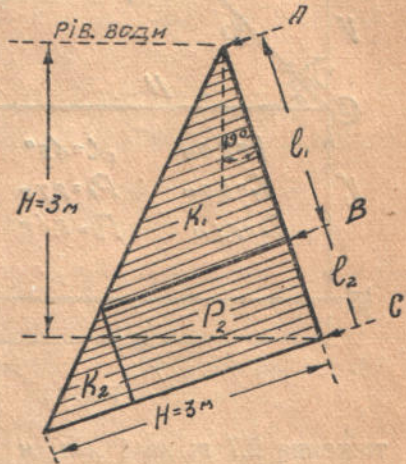


Рис. 10.



Найбільші напруги у прогонах становитимуть:

$$n_1 = \frac{56400}{800} = 71 \text{ кг/см}^2$$

$$n_2 = \frac{38000}{800} = 48 \text{ кг/см}^2$$

Прогини стояка в обох прогонах не перебільшують допустимих.

### § 8. Розрахунок ригельних ферм <sup>1)</sup>

Ферми розраховуємо як відокремлені одна від одної, з'рівномірно розподіленим навантаженням.

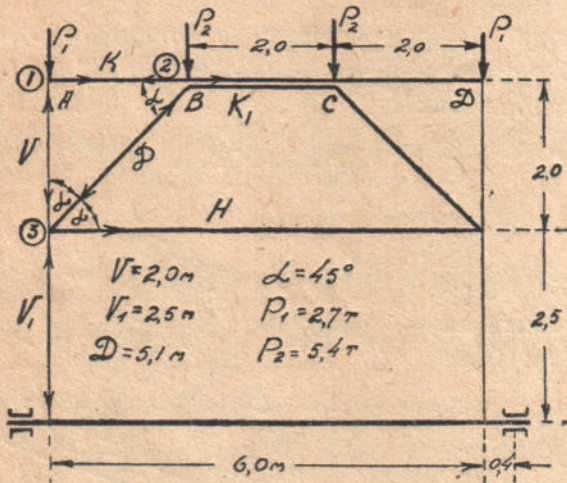


Рис. 11.

При віддалі між ригелями, показаній на рис. 10, інтенсивність тиску на 1 лін. м кожного ригеля дорівнюватиме:

Ригель верхній . . . . .	0,7 т
"    середній . . . . .	2,7 "
"    нижній . . . . .	1,46 "

Виходячи з міркувань викладених в розд. III, § 2, елементи всіх ригелів підбираємо однакових розмірів, орієнтовно до найбільш навантаженого (середнього) ригеля. Рівномірно розподілене навантаження 2,7 т на 1 лін. м заміняємо силами у вузлах ферми  $P_1 = 2,7 \text{ т}$  і  $P_2 = 5,4 \text{ т}$ .

Потрібні розміри для розрахунку елементів ригельної ферми показані на рис. 11.

Проектуючи зусилля вузлів 1, 2 і 3 на осі X та Y, складаємо п'ять рівнянь, в яких визначаємо зусилля в елементах ферми (2/63):

- 1)  $V - P_1 = 0$ ;  $V = P_1 = 2,7 \text{ т}$ ;
- 2)  $-P_2 + D \cos 45^\circ = 0$ ;  $D = \frac{5,4}{0,707} = 7,65 \text{ т}$ ;
- 3)  $D \cos 45^\circ - K_1 = 0$ ;  $K_1 = -7,65 \cdot 0,707 = -5,4 \text{ т}$ ;
- 4)  $-V - D \cos 45^\circ + V_1 = 0$ ;  $V_1 = 2,7 + 5,4 = 8,1 \text{ т}$ ;
- 5)  $H - D \cos 45^\circ = 0$ ;  $H = 7,65 \cdot 0,707 = 5,4 \text{ т}$ ;

<sup>1)</sup> Наш розрахунок дерев'яної ригельної ферми вперше попадає на сторінки гідротехнічної літератури.



Як видно з визначених зусиль на розтяг працює лише затяжка, ригельний ярус працює на згин, а решта елементів ферми — на стиск.

Стиснені елементи запроєктовані з круглого дерева  $d = 16$  см в найтоншому кінці; найменша площа перерізу такої колоди, враховуючи ослаблення врубками та болтовими дірками, дорівнюватиме близько  $160$  см<sup>2</sup>.

Перевіряємо на міцність елемент  $V_1$ , для якого найбільша стискаюча сила дорівнює  $8,1$  т.

Отже найбільші напруги на стиск дорівнюватимуть:

$$n = \frac{8100}{160} = 51 \text{ кг/см}^2$$

Перевірка елемента на поздовжній згин:

$l = 2,30$  м — розрахункова довжина;

$I = \frac{\pi d^4}{64} = 3217$  см<sup>4</sup> — момент інерції;

$F = 201$  см<sup>2</sup> — площа перерізу брутто;

$r = \sqrt{\frac{I}{F}} = 4,0$  см — радіус інерції;

$S = \frac{l}{r} = 51$  — гнучкість елемента;

$\varphi = 0,63$  — коефіцієнт поздовжнього згину за „Єдиними нормами“;

$n = \frac{8100}{201 \cdot 0,63} = 64$  кг/см<sup>2</sup> — напруга.

Затяжка запроєктована з двох пластин  $d = 16$  см. Напруга на розтяг дорівнюватиме:

$$n = \frac{H}{F} = 27 \text{ кг/см}^2$$

Затяжку у вузлах треба скріпити залізними хомутами, прирубкою та двома — чотирма болтами, залежно від розрахунку.

Верхню колоду  $K$  приймаємо за нерозрізну балку на чотирьох опорах при трьох однакових прогонах  $l = 2$  м з рівномірно розподіленим навантаженням  $q = 2,7$  т на 1 лн. м.

В крайніх прогонах найбільший додатний момент згину буде на віддалі  $0,4 l = 0,8$  м від крайніх опор  $A$  і  $D$ ; величина його дорівнює:

$$M = + aql^2 = 0,864 \text{ т.м}^2$$

Найбільший від'ємний момент на опорах  $B$  і  $C$  буде такий:

$$M = - aql^2 = - 1,8 \text{ т.м}^2$$

<sup>1)</sup> Коефіцієнти  $a$  взято з таблиць К. Симінського для розрахунку нерозрізних балок на чотирьох опорах (3/108)



Додатний момент на середині другого прогону дорівнює:

$$M = aql^2 = 0,27 \text{ т. м}$$

Ригелі запроектовані з круглого дерева  $d = 23 \text{ см}$  по всьому прогону а в середні панелі додано колоду  $d = 16 \text{ см}$ .

Отже напруги на згин будуть:

а) у крайніх прогонах, де  $W = 1194 \text{ см}^3$ :

$$n = \frac{86400}{1194} = 73 \text{ кг/см}^2;$$

б) над середніми опорами, де  $W = 1500 \text{ см}^3$

$$n = \frac{180000}{1500} = 72 \text{ кг/см}^2$$

### § 9. Розрахунок вала до затвора

Повний тиск води на затвір дорівнює 28,8 т (див. § 3), який через ноги ригельних ферм передається на вал по 14,4 т на кожний підшипник. Віддаль від середини підшипника до осі ригельних ніг дорівнює 0,40 м (див. рис. 11).

Вал працює в умовах чистого згину:

$$M = 14,4 \cdot 0,4 = 5,76 \text{ т. м} = 576000 \text{ кг.см}$$

Щоб сприйняти такий момент згину, дерев'яний вал при допустимій напрузі  $80 \text{ кг/см}^2$  повинен мати момент опору:

$$W = \frac{M}{n} = 7200 \text{ см}^3,$$

тобто потрібна колода діаметром близько 50 см.

Вал запроектований з колоди  $d = 26 \text{ см}$  і двох швелерів № 20.

Дерев'яна частина сприймає на себе:

$$M = W \cdot n = 138080 \text{ кг.см.}$$

і на два швелери лишається:  $576000 - 138080 = 437920 \text{ кг.см.}$

Напруги в швелерах з сумарним моментом опору  $2 \cdot 202 = 404 \text{ см}^3$  становитимуть:

$$n = \frac{437920}{404} = 1080 \text{ кг/см}^2$$

### § 10. Специфікація матеріалів

Дані про специфікацію матеріалів секторного затвора, зведені в табл. 14—для дерев'яних і в табл. 15—для металічних деталей.

Вага дерев'яних частин:  $5,246 \cdot 900 = 4721 \text{ кг.}$

Вага затвора:  $Q = 4721 + 534 = 5255 \text{ кг.}$

Напірна площа затвора:  $3 \cdot 6 = 18 \text{ м}^2.$



Таблиця 14

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечний переріз або $d$ (см.)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м <sup>3</sup> )
1	Вал з круглого дерева . . . . .	$d = 26$	7	1	0,500
2	Бруски для стояків . . . . .	$20 \times 12$	3,40	7	0,571
3	Кругле дерево для ригельних ферм	$d = 16$	5	4	0,560
4	Те ж . . . . .	$d = 23$	6,20	3	0,950
5	Те ж . . . . .	$d = 16$	2,50	3	0,180
6	Підкоси . . . . .	$d = 16$	2,75	6	0,390
7	Парні схватки . . . . .	$d = \frac{16}{2}$	6,50	6	0,530
8	" . . . . .	$d = \frac{16}{2}$	2,0	4	0,100
9	Брус ущільнення . . . . .	$24 \times 20$	6,20	1	0,260
10	Дошки для обшивки . . . . .	$20 \times 5$	6,20	16	0,992
11	" на торці ригелів . . . . .	$20 \times 5$	3,40	2	0,068
Разом . . . . .					5,246
З них: дошок . . . . .					1,060
брусків . . . . .					0,831
круглого дерева . . . . .					3,355

Таблиця 15

№	Назва деталей (метал.)	Поперечний переріз або $d$ (мм)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Стальний наконечник . . . . .	$d = 220$	0,7	2	76
2	Кільцеві прокладки . . . . .	$d = 350$	—	2	10
3	Хомути з пол. заліза . . . . .	$50 \times 10$	0,6	2	5
4	Болти різні . . . . .	$d = 15 - 20$	0,2—0,6	81	59
5	Швелери до вала . . . . .	№ 20	6,0	2	324
6	Скоби . . . . .	$12 \times 12$	0,4	12	5
7	Накладки з полосов. заліза . . . . .	$50 \times 10$	0,3—0,5	24	44
8	Цвяхів дротяних . . . . .	—	0,152	250	7
9	Лист бокового ущільнення . . . . .	$300 \times 5$	3,0	2	8
10	Дріт до листа . . . . .	$d = 10$	300	2	4
11	Інші дрібні деталі (кругло) . . . . .	—	—	—	10
Разом . . . . .					534



На 1 м<sup>2</sup> напірної площі потрібно:

а) дерева:  $\frac{5,246}{18} = 0,291 \text{ м}^3$ ;

б) заліза: при двох швелерах до вала  $\frac{534}{18} = 29,6 \text{ кг}$ , без швелерів  $\frac{210}{18} = 11,7 \text{ кг}$ .

## Розділ VII

### Сегментний затвір з циліндричною обшивкою <sup>1)</sup>

(Схема—лист VI)

#### § 1. Основні дані до розрахунку

Остов затвора запроєктований з трьох ригельних ферм з круглого дерева  $d = 22 \text{ см}$ , до яких прикріплені стояки з брусків  $25 \times 14 \text{ см}$ , на від-

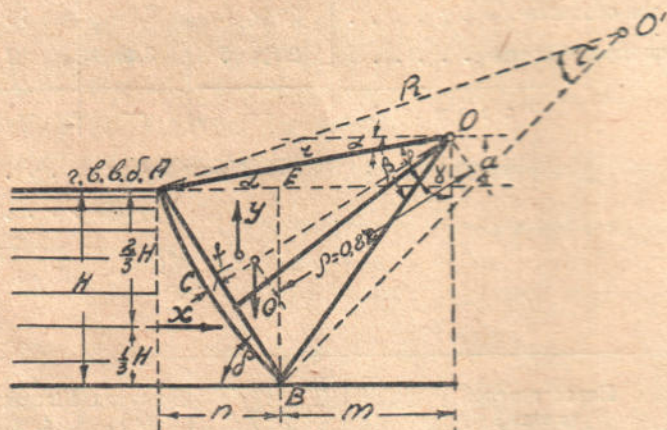


Рис. 12.

далі 0,75 м одна від одної та відповідні сегменти, вирізані з брусків по радіусу 10 м.

Бокове ущільнення з каната, укріпленого на кінцях обшивки, який притискується водою до рейок на стінках зрубних опор.

Обшивка — з дошок  $20 \times 5 \text{ см}$ .

Схема запроєктована при таких даних (рис. 12):

- 1)  $H = 4$  — проектний напір;
- 2)  $l = 6,0 + 0,5 = 6,5 \text{ м}$  — розрахунковий прогін затвора;
- 3)  $a = 1 \text{ м}$  — перевищення осі затвора над проектним рівнем;
- 4)  $r = 6,0 \text{ м}$  — довжина ніг сектора;
- 5)  $R = 10,0 \text{ м}$  — радіус обшивки;

<sup>1)</sup> Цей тип затвора був запроєктований у київській філії Укрдівпроводу для одного ескізного проекту.



- 6)  $\alpha = 9^\circ 35'$  — кут нахилу верхньої ноги сектора до горизонту;  
 7)  $\beta = 56^\circ 30'$  — кут від нижньої ноги сектора до горизонту;  
 8)  $\gamma = 33^\circ 30'$  — кут нахилу нижньої ноги сектора до вертикалі;  
 9)  $\varphi = 46^\circ 55'$  — центральний кут сектора;  
 10)  $\delta = 56^\circ 57'$  — кут нахилу хорди  $AB$  до горизонту;  
 11)  $\tau = 27^\circ 40'$  — центральний кут для обшивки;  
 12)  $n = AB \cos \delta = 4,78 \cdot \cos 56^\circ 57' = 2,63 \text{ м}$  — проекція хорди  $AB$  на горизонтальний напрям;  
 13)  $m = r \sin \gamma = 6,0 \sin 33^\circ 30' = 3,31 \text{ м}$  — те саме для нижньої ноги сектора;  
 14)  $\rho = 0,8$   $r = 0,8 \cdot 6,0 = 4,8 \text{ м}$  — віддаль центра ваги затвора від осі по бісектрисі центрального кута;  
 15)  $f = R - R \cos \frac{\varphi}{2} = 0,30 \text{ м}$  — висота сегмента.

### § 2. Визначення зовнішніх сил, що діють на затвір

а) Горизонтальна сила:

$$X = \frac{H^2 l}{2} = 52,0 \text{ т}$$

б) Перпендикулярна сила:

$$Y = \Omega \cdot l = 41,3 \text{ т}$$

де  $\Omega$  — площа фігури  $BCDE$  (трикутник висотою 4 м та з основою 2,63 м і сегмент радіусом 10 м та стрілою 0,30 м). Віддаль центра ваги  $\Omega$  від грані  $BE$  дорівнює 0,98 м.

в) Власну вагу визначаємо за емпіричною формулою проф. Б. Ю. Каліновича (27/414);

$$Q + K(IH)$$

де  $K = 0,035$  — середнє значення коефіцієнта

$$\lg Q = \lg 0,035 + 1,6 \lg (6,5 \cdot 4,0) = 0,81$$

Отже вага затвора  $Q = 6,45 \text{ т}$

Дійсна вага (із специфікації) дорівнює 8,5 т.

### § 3. Перевірка на стійкість

Перевірку на стійкість затвора робимо так само, як і в попередньому варіанті (рис. 13).

Момент, що притискує затвір до флотбета, дорівнюватиме:

$$M_1 = X \left( \frac{2H}{3} + a \right) + Q \cdot x_3,$$

де:

$X = 52,0 \text{ т}$  — горизонтальна складова від тиску води;

$\frac{2H}{3} + a = 3,66 \text{ м}$  — плече цієї сили;

$Q = 6,45 \text{ т}$  — орієнтовна вага затвора;



$x_3 = \rho \cos \left( \frac{\varphi}{2} + \gamma \right) = 4,8 \cdot \cos 56^\circ 57' = 2,62 \text{ м}$  — плече сили  $Q$  відносно до осі затвора.

$$M_1 = 52,0 \cdot 3,66 + 6,45 \cdot 2,62 = 207 \text{ т. м}$$

Момент, що прямує до підняття затвора вгору, становитиме:

$$M_2 = Y \cdot x_2 + P \cdot m,$$

де:

$Y = 41,2 \text{ т}$  — перпендикулярна сила від тиску води;

$x_2 = 3,30 + 0,98 = 4,28 \text{ м}$  — плече сили  $Y$  відносно до осі затвора;

$P = 0,20 \cdot 6,5 \cdot 4,0 = 5,2 \text{ т}$  — фільтраційний тиск води на брусок ущільнення, шириною  $20 \text{ см}$  та прогоном  $6,5 \text{ м}$  при напорі  $4 \text{ м}$ ;

$m = 3,29 \text{ м}$  — плече цієї сили.

Підставляючи значення величин, одержуємо:

$$M_2 = 41,2 \cdot 4,28 + 5,2 \cdot 3,29 = 192 \text{ т. м.}$$

Коефіцієнт стійкості затвора дорівнює:

$$\eta = \frac{M_1}{M_2} = 1,08 > 1$$

Цей коефіцієнт є орієнтовний, а фактично він буде значно більший, коли врахувати сили тертя в бокових ущільненнях, на валу затвора, а також взяти дійсну вагу затвора в  $8,5 \text{ т}$ , а не приблизну в  $6,45 \text{ т}$ .

Зважаючи на те, що рівнодійна від сил  $X$  і  $Y$  проходить через вісь затвора і сумарний момент зазначених сил дорівнює нулеві, для орієнтовного визначення коефіцієнта стійкості можна взяти лише співвідношення моментів сил:  $Q$  — власної ваги затвора і  $P$  — фільтраційного тиску на нижній брус ущільнення. Отже ширина бруска ущільнення має вирішальне значення щодо стійкості затвора і може бути визначена з співвідношення згаданих моментів (27/415). Чим менша ширина бруска ущільнення, тим більший буде коефіцієнт стійкості затвора.

#### § 4. Визначення підйимального зусилля

Підйимальне зусилля (рис. 13) визначаємо так само, як і для попереднього прикладу (див. розд. VI, § 4)<sup>1)</sup>.

Повне й найбільше підйимальне зусилля, потрібне для підняття затвора, дорівнюватиме:

$$T_{\text{макс}} = 1,5 (T_1 + T_2 + T_3),$$

Після ряду підрахунків виявилось, що найбільше підйимальне зусилля потрібне на самому початку підняття затвора.

$T_1$  визначаємо з такого рівняння моментів:

$$Q \cdot x_3 = T_1 \cdot x_1,$$

<sup>1)</sup> Детальний розрахунок підйимального зусилля подано у праці проф. Каліновича „Начало теории бетонных плотин“ (27/420).



де:  $x_1 = n + m = r \sin(\varphi + \gamma) = 5,93 \text{ м}$  — плече підйимального зусилля відносно до осі; решта величин — попереднього значення.

Отже

$$T_1 = \frac{6,45 \cdot 2,62}{5,93} = 2,62 \text{ т}$$

$T_2$  визначаємо за формулою:

$$T_2 = \frac{fWr_1}{x_1}$$

де:

$f = 0,20$  — коефіцієнт тертя осі в підшипниках;

$W = \sqrt{X^2 + Y^2} = 66,4 \text{ т}$  — повний тиск води на затвір;

$r_1 = 13 \text{ см}$  — радіус вала;

$x_1 = r \sin(\varphi + \gamma) = 5,93 \text{ м}$  — плече сили  $T_2$ ;

$r = 6 \text{ м}$  — радіус сектора;

$\sin(\varphi + \gamma) = 0,987$ .

Отже

$$T_2 = \frac{0,20 \cdot 66,4 \cdot 0,13}{6,0 \cdot 0,987} = 0,29 \text{ т}$$

Сила тертя в двох бокових ущільненнях дорівнює:

$$F = 2 \cdot \frac{H \cdot S}{2} \cdot b \cdot f,$$

де:

$H = 4 \text{ м}$  — напір;

$S = 4,8 \text{ м}$  — довжина дуги при  $R = 10 \text{ м}$ ;

$\tau = 27^\circ 50'$  — центральний кут для обшивки;

$b = 0,06 \text{ м}$  — ширина дотику каната бокового ущільнення до кругових рейок на зрубних стінках;

$f = 0,7$  — коефіцієнт тертя каната по дереву.

Підставляючи значення величин, одержимо:

$$F = \frac{2 \cdot 4 \cdot 4,8}{2} \cdot 0,06 \cdot 0,7 = 0,81 \text{ т}$$

Припускаємо, що сила  $F$  прикладена на бісектрисі сектора; тоді плече її відносно до прямої  $OK$  дорівнюватиме:

$$x_4 = f + r \sin\left(90 - \frac{\varphi}{2}\right) = 5,78 \text{ м}$$

$T_3$  визначиться з співвідношення моментів:

$$T_3 \cdot x_3 = F \cdot x_4,$$

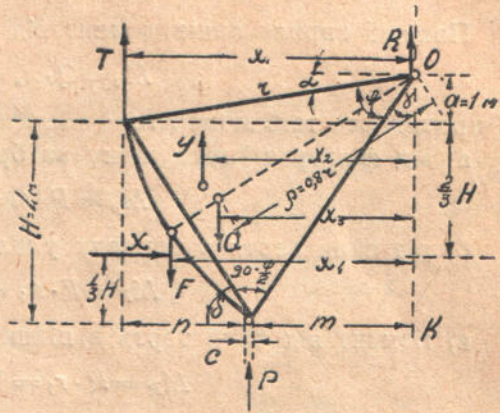


Рис. 13.



звідки:

$$T_3 = \frac{F \cdot x_4}{x_1} = 0,79 \text{ т}$$

Отже

$$T_{\text{макс}} = 1,5 (2,86 + 0,29 + 0,79) = 5,9 \text{ т}$$

### § 5. Перевірка опускання затвора на флютбет

Посадці сприяє лише момент від власної ваги затвора (рис. 13):

$$M_a = Q \cdot x_3 = 16,9 \text{ т.м.}$$

а протидіють такі моменти:

а) від фільтраційного тиску на брусок ущільнення:

$$M_p = P \cdot m = 17,2 \text{ т.м.}$$

б) від сили тертя в бокових ущільненнях:

$$M_F = F \cdot x_4 = 4,6 \text{ т.м.}$$

в) момент від сили тертя в підшипниках вала затвора:

$$M_R = R \cdot r_1 = Wfr_1 = 1,7 \text{ т. м.}$$

де:

$W$  — повний тиск води на затвір;

$f = 0,2$  — коефіцієнт тертя в підшипниках;

$r_1 = 0,13 \text{ м}$  — радіус вала.

Сумарний, протидіючий опусканню затвора момент дорівнюватиме:

$$M_k = 17,2 + 4,6 + 1,7 = 23,5 \text{ м}$$

Отже відношення моменту, сприяючого спусканню, до моменту протидіючого становить:

$$\frac{M_a}{M_k} = \frac{16,9}{23,5} = 0,72 < 1,25$$

Це показує, що затвір лише з допомогою своєї власної ваги на флютбет не сяде, а потрібний притискуючий момент, величина якого повинна бути не менша, ніж

$$1,25 \cdot 23,5 - 16,9 = 12,5 \text{ т.м}$$

Варто було б замість ланцюгів, що піднімають затвір, запроєктувати штанги, які натискували б на затвір зверху і сприяли його опусканню на флютбет; наприклад, коли такі штанги будуть натискувати на затвір з силою  $2 \text{ т}$  в кінці затвора, то цього буде досить для забезпечення нормальної посадки, крім того сегментний затвір завжди можна запроєктувати без притискуючої сили, відповідно підбравши кути  $\delta$  і  $\gamma$ .

### § 6. Перевірка напруг у дошках обшивки

Інтенсивність тиску на 1 лін. м найнижчої дошки  $20 \times 5 \text{ см}$  становить:

$$q = \frac{4,0 + 3,8}{2} \cdot 0,20 = 0,78 \text{ т}$$



Приймаємо дошки за балки на багатьох опорах; при віддалі між стояками 0,75 м найбільший момент згину дорівнюватиме:

$$M = \frac{ql^2}{10} = 0,044 \text{ т.м} = 4400 \text{ кг.см}$$

Напруги на згин становитимуть:

$$n = \frac{M}{W} = 53 \text{ кг/см}^2$$

### § 7. Перевірка напруг у стояках

Віддаль між стояками — 0,75 м; віддаль між опорними точками вибрано так (рис. 14), щоб моменти згину в обох прогонах стояка були однакові:

$$AC = 2,93 \text{ м}; BC = 1,85 \text{ м}; AB = 4,78 \text{ м}$$

Інтенсивність тиску води на стояк проти опор С і В дорівнює:

$$q_1 = \frac{3,0 \cdot 2,93}{4,78} = 1,84 \text{ т}$$

$$q_2 = 4,0 \cdot 0,75 = 3,0 \text{ т}$$

Значення силових навантажень такі:

$$K_1 = \frac{q_1 l_1}{2} = \frac{1,84 \cdot 2,93}{2} = 2,7 \text{ т}$$

$$K = \frac{(q_2 - q_1) l_2}{2} = \frac{1,16 \cdot 1,85}{2} = 1,08 \text{ т}$$

$$P_2 = q_1 \cdot l_2 = 1,84 \cdot 1,85 = 3,42 \text{ т}$$

Для запасу міцності вважаємо стояки за розрізні на опорах; найбільший момент згину для першого прогону дорівнюватиме:

$$M_1 = 0,128 K_1 l_1 = 1,015 \text{ т.м},$$

а для другого:

$$M_2 = 0,125 P_2 l_2 + 0,128 K_2 l_2 = 1,046 \text{ т.м}$$

Для бруска 14 × 25 см момент опору дорівнює:

$$W = \frac{14 \times 25^2}{6} = 1410 \text{ см}^3$$

Отже найбільші напруги в стояках на згин становитимуть:

$$n = \frac{M_2}{W} = 72 \text{ кг/см}^2$$

### § 8. Розрахунок ригельних ферм і вала

Розрахунок ригельних ферм зроблений аналогічно з попереднім варіантом (див. розділ VI, § 8), напруги ніде не перевищують допустимих.

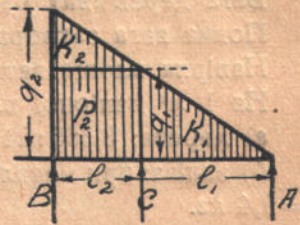


Рис. 14.



Рівнодійна від тиску води на затвір  $W = 66,4 \text{ т}$ , тобто по  $33,2 \text{ т}$  на підшипник; віддаль від середини підшипника до осі ригельних ніг— $0,3 \text{ м}$ ; отже момент згину для вала буде:

$$M = 32,2 \cdot 0,3 = 9,96 \text{ т.м}$$

Такого моменту згину сама лише дерев'яна частина вала сприйняти не зможе, а тому треба підсилити вал залізними тяжами як показано на схемі.

Зменшити момент згину у валі можна при умовах, зазначених в розд. VI, § 9.

### § 9. Специфікація матеріалів

Дані про специфікацію матеріалів сегментного затвора з циліндричною дощаною обшивкою зведені в табл. 16 для дерев'яних і в табл. 17— для металічних деталей.

Вага дерев'яних частин:  $8,555 \times 900 = 7700 \text{ кг}$ .

Повна вага затвора  $Q = 7700 + 766 + 43 = 8,509 \text{ кг}$ .

Напірна площа затвора:  $4 \cdot 6 = 14 \text{ м}^2$ .

На  $1 \text{ м}^2$  напірної площі потрібно:

а) дерева:  $8,555 : 24 = 0,357 \text{ м}^3$ ;

б) заліза: при металічних тяжах —  $767 : 24 = 31,9 \text{ кг}$ , без тяжів  $217 : 24 = 9,4 \text{ кг}$ .

Таблиця 16

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечний переріз або $d$ (см)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м <sup>3</sup> )
1	Вал з круглого дерева . . . . .	$d = 28$	7	1	0,570
2	Кругле дерево для ригельних ферм . . . . .	$d = 22$	80	18	2,544
3	Схватки з пластин . . . . .	$d = \frac{20}{2}$	57	10	1,199
4	Бруски для стояків . . . . .	$25 \times 14$	4,8	9	1,512
5	Кружала під обшивку з брусків . . . . .	$25 \times 14$	4,8	9	0,910
6	Дошок для обшивки . . . . .	$25 \times 5$	6,5	24	1,560
7	Брусок ущільнення . . . . .	$20 \times 10$	6,5	1	0,260
	Разом . . . . .	—	—	—	0,555
					З них: круглого дерева . . . . . 4,313
					брусків . . . . . 2,682
					дошок . . . . . 1,560



Таблиця 17

№	Назва деталей (метал.)	Поперечний переріз або $d$ (мм)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Стальний наконечник . . . . .	$d = 220$	0,7	2	76
2	Кільцеві прокладки . . . . .	$d = 350$	—	2	10
3	Хомути з полосов. заліза . . .	$50 \times 10$	0,6	2	5
4	Скоби для скріплення ферм .	$12 \times 12$	0,4	12	5
5	Цвяхи для прибивання дощок	—	0,152	250	7
6	Полосове залізо для виковків	$50 \times 10$	0,3—0,5	24	44
7	Болти різні . . . . .	$d = 15—20$	0,2—0,6	84	62
8	Тяжі з круглого заліза . . .	$d = 24$	1,8	6	538
9	Кільця до вала . . . . .	$50 \times 16$	—	3	11
10	Інші дрібні деталі . . . . .	—	—	—	8
	Разом . . . . .	—	—	—	766
11	Канат для ущільнення <sup>1)</sup> . . . .	$d = 50$	4,8	2	43

## Розділ VIII

## Щитки Буле при відкидних стояках

(Схема — лист VII)

## § 1. Пояснення типу затвора

Ця конструкція дає можливість окремими легенькими щитками перекидати прогони до 10 м між биками. При більших прогонах ускладнюється конструкція проїзного та службового містків.

Складні дерев'яні відкидні стояки можна застосовувати при напорах найбільше в 3—3,5 м, при віддалі між стояками в 1,5—2 м.

Для прикладу у схематичному проекті взято прогін в 10 м між биками і поділено відкидними стояками на п'ять частин по 2 м. Стояки запроєктовані в трьох варіантах: тип залізного стояка і два типи дерев'яних стояків. Внизу стояки спираються в чавунне гніздо і передають тиск на королевий брус, а зверху шарнірно прикріплені до опорної горизонтальної ферми системи Гау. Віддаль між опорними точками—4,5 м. Висота підпертого рівня над порогом взята в 3 м, запас на переливання—0,5 м, а віддаль від підпертого рівня води до верхньої опорної точки (шарнір)—1,5 м

Щитки висотою по 1,5 м встановлені в два яруси. Піднімання щитків та відкидних стояків провадиться з допомогою лебідки, що рухається, вздовж службового містка.

<sup>1)</sup> Вагу каната взято в 4,5 кг в 1 лн.м.



§ 2. Розрахунок стояків (рис. 15,а)

При вищезазначених розмірах навантаження на стояк матиме вигляд трапеції, в якій нижня основа  $b=7\text{ м}$ , верхня  $a=1\text{ м}$  і висота  $H=3\text{ м}$ . Тиск води на один стояк дорівнює:

$$P = \frac{a+b}{2} \cdot H = 12\text{ м}$$

Віддалі центра ваги силової трапеції від опорних точок дорівнюють:

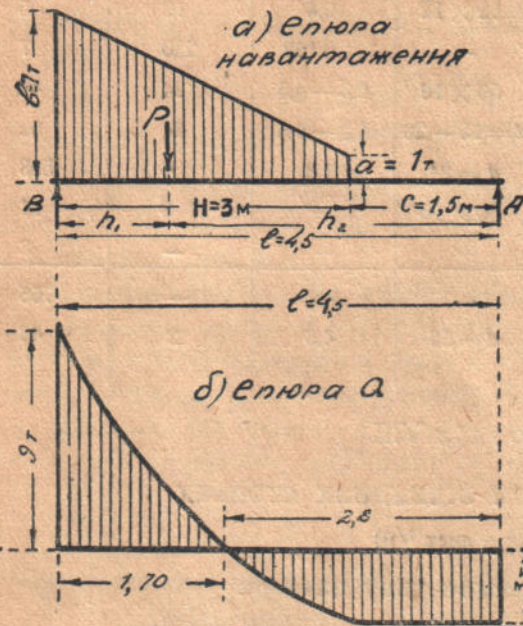


Рис. 15

а) від нижньої:

$$h_1 = \frac{H}{3} \cdot \frac{b+2a}{b+a} = 1,13\text{ м};$$

б) від верхньої:

$$h_2 = 4,5 - 1,13 = 3,37\text{ м}$$

Реакції опор дорівнюють:

а) верхня:

$$A = \frac{P \cdot h_1}{l} = 3\text{ м};$$

б) нижня:

$$B = P - A = 9\text{ м}$$

Щоб знайти згинальний момент для якогонебудь перерізу, для зручності розрахунку розбиваємо силову трапецію на трикутник та

прямокутник (див. рис. 16,а):

$$M_x = A(e+x) - \frac{x^3}{3} - \frac{x^2}{2} \quad (1)$$

Для визначення перерізу, для якого згинальний момент буде найбільший, треба взяти першу похідну від виразу (1) по  $x$ , порівняти її до нуля і знайти  $x$ :

$$y' = A - x^2 - x = 3 - x^2 - x = 0$$

звідки:

$$x = -0,5 \pm \sqrt{\frac{1}{4} + 3} = \frac{1}{2} \pm 1,8$$

Величина  $x$  додатна і дорівнює 1,3 м. Підставляючи значення  $x$  у формулу (1), знаходимо найбільший момент згину:

$$M_{\text{макс}} = 3(1,5 + 1,3) - \frac{1,3^3}{3} - \frac{1,3^2}{2} = 6,8\text{ м. м} = 680000\text{ кг.см}$$



Еюра перерізуєчих сил показана на рис. 15(б), в перерізі, де згинальний момент буде найбільший, перерізуєча числа дорівнює нулеві.

а) Стояк залізний з двох швелерів № 22 та прокладки між ними з листа товщиною 11 мм, шириною 220 мм (див. фіг. а).

Момент опору такого перерізу дорівнює:

$$W = 2 \cdot 257,3 + 98,0 = 613 \text{ см}^3,$$

а напруга на згин:

$$n = \frac{M}{W} = 1100 \text{ кг/см}^2$$

Найбільший прогин стояка визначаємо за формулою:

$$y_{\text{макс}} = \frac{5Pl^3}{384EI}, \quad (2)$$

де:

$P = 12 \text{ т}$  — навантаження на стояк;

$l = 4,5 \text{ м}$  — розрахунковий прогин;

$E = 2 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$  — модуль пружності для сосни;

$I = 6638 \text{ см}^4$  — момент інерції поперечного перерізу стояка.

Підставляючи ці величини у формулу (2), знаходимо:

$$y_{\text{макс}} = \frac{5 \cdot 12000 \cdot 91125000}{384 \cdot 6638} = 1,07 \text{ см}$$

Допустимий прогин:

$$y = \frac{l}{400} = 1,13 \text{ см}$$

б) Стояк дерев'яний з двох брусків  $22 \times 26 \text{ см}$  на дубових шпонках та болтах (фіг. б).

Віддаль між брусками —  $8 \text{ см}$ . Момент опору поперечного перерізу (брутто) визначиться за формулою:

$$W = \frac{b}{6H} \cdot (H^3 - h^3), \quad (3)$$

де:

$b = 22 \text{ см}$  — ширина брусків;

$H = 60 \text{ см}$  — повна висота перерізу;

$h = 8 \text{ см}$  — віддаль між брусками.

Підставляючи значення величин у формулу (3), одержимо:

$$W = \frac{22}{6 \cdot 60} \cdot (60^3 - 8^3) = 13156 \text{ см}^3$$

Напруги на згин дорівнюватимуть:

$$n = \frac{M}{W} = 52 \text{ кг/см}^2$$



Сколюючі напруги на опорах визначаємо за формулою (1/184):

$$t_{\text{макс}} = \frac{3Q}{2 \cdot b \cdot H},$$

де:

$Q$  — перерізуюча сила, рівна для нижньої опори  $9 \text{ т}$ , а для верхньої —  $3 \text{ т}$ ;  
 $b$  і  $H$  — попередні величини.

Отже напруги на сколювання відповідно становитимуть:

$$t_1 + \frac{3 \cdot 9000}{2 \cdot 22 \cdot 60} = 10 \text{ кг/см}^2$$

$$t_2 = \frac{3 \cdot 3000}{2 \cdot 22 \cdot 60} = 3,4 \text{ кг/см}^2$$

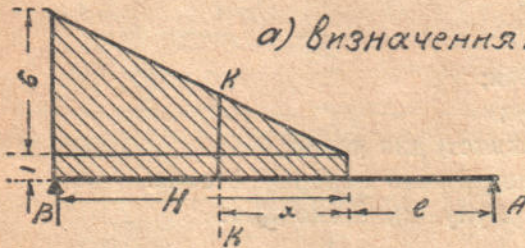
Епюра сколюючих напруг показана на рис. 16(б).

Епюра сколюючих зусиль розбита на рівновеликі частини (5/267; 34/154), проти центрів цих частин у стояку поставлено по одній шпонці та по

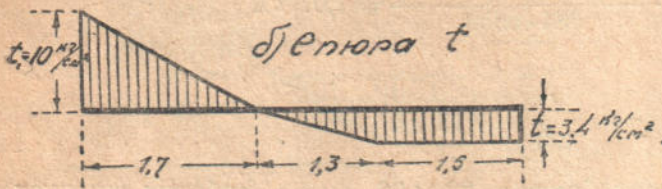
два болти, з таким розрахунком, щоб кожна шпоночна злука сприймала однакове зусилля. У кожній половині стояка дано по три шпонки та по шість розрахункових болтів. Віддаль між осями шпонок показана на схемі.

Повне сколююче зусилля нижньої частини стояка дорівнює:

$$T = \frac{t_1 \cdot K}{2} \cdot B,$$



а) Визначення  $M$



б) Епюра  $t$

Рис. 16.

де:

$t_1 = 10 \text{ кг/см}^2$  — найбільша сколююча напруга на опорі;

$B = 32 \text{ см}$  — ширина бруска;

$K = 170 \text{ см}$  — віддаль від опори до нульової точки.

Отже:

$$T = \frac{10 \cdot 22 \cdot 170}{2} = 18700 \text{ кг}$$

На одну шпонку та два болти припадає:

$$\frac{T}{3} = \frac{18700}{3} = 6233 \text{ кг}$$

Діаметр болтів  $2 \text{ см}$ , допустима напруга на зріз болтів —  $500 \text{ кг/см}^2$ .  
 Отже два болти сприймуть на себе:

$$T_1 = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 500 = 3140 \text{ кг},$$

а решта  $T_2 = 6233 - 3140 = 3093 \text{ кг}$  — передана буде на шпонку.



При довжині шпонки 20 см і ширині 22 см площа сколювання дорівнюватиме:

$$F = 20 \cdot 22 = 440 \text{ см}^2$$

Тоді напруги на сколювання шпонки становитимуть:

$$t = \frac{3093}{440} = 7 \text{ кг/см}^2$$

Глибина врубки шпонки в бруску стояка взята в 4 см; отже площа змінання дорівнюватиме:

$$\omega = 4 \cdot 22 = 88 \text{ см}^2,$$

а напруги на змінання торця шпонки або бруска:

$$\sigma = \frac{3093}{88} = 36 \text{ кг/см}^2$$

в) Стояк дерев'яний з двох брусків  $22 \times 24$  см, як зазначено на схемі (фіг. в), тобто із змінним перерізом. Бруски — на дубових шпонах та болтах, як і в попередньому варіанті.

Момент опору такого стояка в перерізі найбільшого моменту згину дорівнюватиме:

$$W = \frac{b}{6H} (H^3 - h^3) = \frac{22}{6 \cdot 58} (58^3 - 10^3) = 12300 \text{ см}^3$$

Найбільші напруги в дерев'яних частинах на згин становлять:

$$n = \frac{M}{W} = \frac{680000}{12300} = 55 \text{ кг/см}^2$$

Коли ж врахувати ослаблення брусків пазами та болтовими дірками, то момент опору зменшиться і напруги відповідно до цього збільшаться.

Визначаючи допустимі напруги для подібних дерев'яних конструкцій, треба мати на увазі, що складні балки завжди мають меншу міцність, ніж суцільні таких же розмірів, тому і допустимі напруги для перших треба брати відповідно зменшеними. Здебільшого такі напруги беруть лише в 70% від допустимих напруг для суцільних балок (1/184, 5/165).

### § 3. Розрахунок щитків

Верхні щитки запроектовані з дошок, товщиною 10 см і шириною 20 см. Припускаємо висоту шару води, що переливається через щитки, в 0,5 м і перевіряємо напруги в нижній дошці.

Розрахунковий прогін щитків 1,94 м, навантаження — 2 т на 1 лн. м.

$$M_{\text{макс}} = \frac{2 \cdot 1,94^2}{8} = 0,94 \text{ т.м на } 1 \text{ м висоти або } 940 \text{ кг.см на } 1 \text{ см висоти}$$

Момент опору на 1 см висоти дошки дорівнює:

$$W = \frac{1 \cdot 10^2}{6} = 16 \text{ см}^3$$



Напруги на згин одержимо:

$$n = \frac{940}{16} = 57 \text{ кг/см}^2$$

Нижній ряд щитків з брусків товщиною 13 см і шириною 20 см. Перевіряємо напруги в нижньому бруску.

$$M_{\text{макс}} = \frac{3,5 \cdot 1,94^2}{8} = 1,65 \text{ т.м на 1 м висоти щитка, або 1650 кг.см на 1 см висоти}$$

Момент опору на 1 см висоти дошки дорівнює:

$$W = \frac{1 \cdot 13^2}{6} = 28 \text{ см}^3,$$

а напруги на згин:

$$n = \frac{1650}{28} = 60 \text{ кг/см}^2$$

Схему горизонтальної опорної ферми Гау, проїзного та службового містків подаємо без розрахунку як можливі варіанти.

#### § 4. Визначення підйимального зусилля

Припускаємо, що через нижній щиток переливається шар води товщиною 1,5 м, що може бути зараз же після підняття верхнього щитка.

Зусилля, потрібне для підняття нижнього щитка, складається з таких частин:

- 1) ваги самого щитка (Q);
- 2) ваги стовпа води над щитком (P);
- 3) сили тертя в пазах стояків (R);
- 4) непередбачені опори, як от: замулення, примерзання, попадання в пази твердих речовин тощо.

Вага нижнього щитка (див. § 6) дорівнює 385 кг. Тиск стовпа води на щиток зверху, при віддалі між стояками 2 м і при товщині дощок нижнього щитка 0,13 м, визначиться так:

$$P = 0,13 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 1 = 0,39 \text{ т}$$

Сила тертя щитка в пазах стояка при коефіцієнті тертя дерева по дереву в 0,65 становитиме:

$$R = \frac{1,5 + 3}{3} \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,65 = 4,38 \text{ т}$$

Найбільше зусилля, потрібне для підняття щитка, враховуючи запас на непередбачені опори, дорівнює:

$$T_{\text{макс}} = 1,5 \cdot (0,39 + 0,39 + 4,38) = 7,7 \text{ т}$$

Коли б по краях щитків дати залізні полоски і цим зменшити коефіцієнт тертя заліза по залізу до 0,5, то підйимальне зусилля буде дорівнювати 6 т.



### § 5. Перевірка на опускання щитків

В більш несприятливих умовах перебуває нижній щиток. Припускаємо, що опускання провадиться при зниженому рівні води, наприклад, при глибині 1 м. Опусканню на флютбет сприяє лише вага самого щитка  $Q = 0,39 \text{ т}$ , а протидіють йому такі сили:

а) тertia в бокових пазах від тиску води:

$$R = \frac{1^2}{2} \cdot 2 \cdot 0,65 = 0,65 \text{ т};$$

б) тиск води на щиток знизу:

$$P = 0,13 \cdot 2 \cdot 1 = 0,26 \text{ т}$$

Сумарна протидіюча сила дорівнюватиме:

$$K = 0,26 + 0,65 = 0,91 \text{ т}$$

Відношення  $\frac{Q}{K} = 0,42 < 1,25$ , показує, що для опускання щитка потрібна притискуюча сила, не менш як  $1,25 K - Q = 0,76 \text{ т}$ . Отже, проектуючи підймальний механізм, варто замість ланцюгів, застосовувати штанги, які б з потрібною силою натискували на щиток при опусканні і сприяли його посадці на флютбет.

### § 6. Специфікація матеріалів

Дані про специфікацію матеріалів щитків Буле зведені в табл. 18 для дерев'яних і в табл. 19 — для металічних деталей.

Таблиця 18

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечний переріз (см)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м³)
1	Дошки для верхнього щитка . .	25 × 10	2	6	0,300
2	Бруски до нижнього щитка . . .	25 × 13	2	6	0,390
3	Бруски відкидного стояка . . .	26 × 22	5	2	0,572
4	Шпонки та прокладки . . . . .	20 × 16	0,22	6	0,043

Таблиця 19

№	Назва деталей (метал.)	Поперечний переріз або $d$ (мм)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Полосове залізо для щитків . . .	80 × 10	2,8	2	23,00
2	Крюки для підймання . . . . .	80 × 10	0,9	4	35,00
3	Болти . . . . .	$d = 10$	0,10	18	1,80
4	" . . . . .	$d = 10$	0,15	18	2,40
5	" . . . . .	$d = 12$	1,55	4	5,80
6	Швелера для стояка . . . . .	№ 22	4,5	2	275,11
7	Полосове залізо . . . . .	220 × 11	4,5	1	77,72
8	Інші залізні частини до дерев. стояка . . . . .	—	—	—	34,00



Підсумовуючи відповідні деталі, знаходимо:

- 1) вага верхнього щитка: 304 кг;
- 2) вага нижнього щитка: 385 кг;
- 3) вага дерев'яного стояка: 591 кг;
- 4) вага залізного стояка: 360,6 кг.

Напірна площа:  $3 \cdot 2 = 6 \text{ м}^2$ .

При дерев'яних стояках потрібно на  $1 \text{ м}^2$ :

а) дерева:  $\frac{1,305}{6} = 0,218 \text{ м}^3$ ;

б) заліза:  $\frac{102}{6} = 17 \text{ кг}$ .

При залізних стояках потрібно на  $1 \text{ м}^2$ :

а) дерева:  $\frac{0,69}{6} = 0,115 \text{ м}^3$ ;

б) заліза:  $\frac{428,6}{6} = 71,5 \text{ кг}$ .

## Розділ IX

### Спицеві затвори

(Схема — лист VIII)

#### § 1. Принцип розрахунку

Спиці розглядаємо як балки на двох опорах з вільно опертими кінцями —  $A$  і  $B$  (рис. 17). Товщина шпиці визначиться за найбільшим моментом згину, який буває при тиску води лише з верхнього б'єфу і повній відсутності з нижнього. Такий випадок може бути, наприклад, при ремонті.

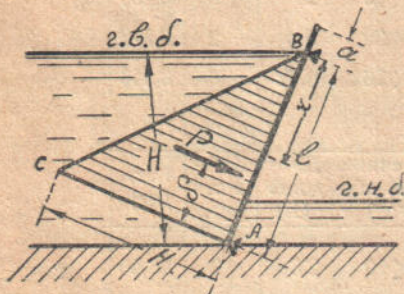


Рис. 17.

Ширину спиці беруть, залежно від асортаменту та конструктивних міркувань, від 10 до 30 см.

Для того, щоб спиці не випливали, їх ставлять похило до вертикалі, під кутом  $10-20^\circ$ ; чим коротші спиці, тим цей кут більший (20/36).

Розрахунок провадимо на ряд спиць шириною 1 м.

Тиск води на таку полосу дорівнюватиме:

$$P = \frac{H \cdot l}{2}, \quad (1)$$

де:

$H$  — напір у метрах;

$l = H \cos \alpha$  — довжина спиць між опорними точками.



Отже

$$P = \frac{H^2}{2 \cos \alpha} \alpha \quad (2)$$

Ця сила прикладена в центрі ваги трикутника  $ABC$  на віддалі від нижнього кінця

$$\delta = \frac{l}{3} = \frac{H}{3 \cos \alpha} \quad (3)$$

Опорна реакція  $B$  визначиться з рівняння суми моментів усіх сил відносно до точки  $A$ :

$$B = \frac{\sum M_A}{l} = \frac{P \cdot \delta}{l} = \frac{H^2}{6 \cos \alpha} \quad (4)$$

Момент згину для будьякого перерізу дорівнюватиме:

$$M_x = B \cdot x - \frac{x^3 \cos \alpha}{6} = \frac{H^2}{6 \cos \alpha} \cdot x - \frac{x^3 \cos \alpha}{6} \quad (5)$$

Беремо першу похідну по  $x$  від рівняння (5), прирівнюємо її до нуля і визначаємо  $x$ , при якому момент згину буде найбільший:

$$\frac{d(M_x)}{dx} = B - \frac{x^2 \cos \alpha}{2} = 0 \quad (6)$$

звідки:

$$x = \sqrt{\frac{2B}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{2H^2}{6 \cos^2 \alpha}} = \frac{H}{\cos \alpha \sqrt{3}} \quad (7)$$

Підставляючи значення  $x$  у формулу (5), знаходимо найбільший момент згину для ряду спиць шириною в 1 м:

$$M_{\max} = \frac{H^2}{6 \cos \alpha} \cdot \frac{H}{\cos \alpha \sqrt{3}} - \left( \frac{H}{\cos \alpha \sqrt{3}} \right)^3 \cdot \frac{\cos \alpha}{6} = \frac{H^3}{9 \sqrt{3} \cos^2 \alpha} \quad (8)$$

Для  $\cos \alpha$  беремо сталу розрахункову величину 0,9; лише в окремих випадках ця величина буває менша. Отже

$$M_{\max} = \frac{H^3}{9 \sqrt{3} \cdot 0,9} = 0,071 H^3 \text{ т.м} \quad (9)$$

## § 2. Визначення товщини спиць

Для визначення товщини спиць користуємось основним рівнянням згину:

$$M = n \cdot W, \quad (10)$$

де:

$M = 0,071 H^3 \text{ т.м} = 7100 H^3 \text{ кг.см}$  — найбільший момент згину:

$n = 66 \text{ кг/см}^2$  — розрахункова напруга для сосни марки II<sup>1)</sup>;

<sup>1)</sup> Поламани спиць легко замінити іншими, тому для цього типу затвора можна вживати дерево марок II і III і допустиму напругу доводити до 30 кг.см.



$W = \frac{bd^2}{6} = \frac{100d^2}{6} \text{ см}^3$  — момент опору для ряду спиць шириною 1 м і товщиною  $d$  см.

Підставляючи відповідні значення у формулу (10), після ряду перетворень одержуємо:

$$d = 2,54 \sqrt{H^3} \text{ см} \quad (11)$$

Напір  $H$  береться в метрах, а момент згину  $M$  — в кг.см

За формулою (11) визначена товщина спиць для різних напорів, при чому дані розрахунку зведені в табл. 20.

На схемі показаний графік залежності товщини спиць від напору. Накреслена крива є півкубічна парабола, вигляду:

$$d = aH^{3/2}$$

де:

$$a = 2,54 \quad (12)$$

За цим графіком зразу можна визначити товщину спиць для будьякого напору.

Відповідні дані зведені в табл. 20.

Таблиця 20

Напір (м)	Момент згину (т.м)	Товщина спиць (см)	Напір (м)	Момент згину (т.м)	Товщина спиць (см)
1	0,071	2,5	3,6	3,313	17,4
1,2	0,123	3,3	3,8	3,896	18,8
1,4	0,195	4,2	4,0	4,544	20,3
1,6	0,291	5,1	4,2	5,260	21,8
1,8	0,414	6,1	4,4	6,048	23,4
2,0	0,568	7,2	4,6	6,911	25,1
2,2	0,756	8,3	4,8	7,852	26,7
2,4	0,981	9,4	5,0	8,875	28,4
2,6	1,248	10,7	5,2	9,980	30,1
2,8	1,559	11,9	5,4	11,180	31,9
3,0	1,917	13,2	5,6	12,470	33,6
3,2	2,326	14,6	5,8	13,850	35,5
3,4	2,761	15,9	6,0	15,340	37,3

### § 3. Спроби зменшити розміри та вагу спиць

Чим більший напір, тим більший буде і момент згину і потрібна буде більша товщина спиць. У Франції намагались уникнути великих поперечних розмірів спиць, доводячи допустиму напругу дерева на згин до  $170 \text{ кг/см}^2$ . Це спричиняло великий прогин і часте ламання спиць при експлуатації.



Були спроби ставити спиці більшим боком у бік течії, але й це не дало бажаних наслідків; при установленні течія води повертала спиці широким боком до ферм.

Виготовлення спиць як бруса, рівного опоріві, дало позитивні наслідки. Так, при довжині спиць 3,75 м і напорі 2,5 м спиці внизу мали товщину 9,9 см, зверху — 9 см і 12,1 см в місці найбільшого моменту згину (17/336). Найбільші напруги при цьому не перевищували 87 кг/см<sup>2</sup>.

За нашими підрахунками спицеві затвори можна застосувати для напорів, не більших як 3—3,5 м; при більших напорах розміри брусків виходять із стандартів, та й самі спиці стають настільки важкими, що ними не можна маневрувати руками, а треба застосовувати відповідний механізм, що значно удорожує експлуатацію.

#### § 4. Приклад спицевого затвора

Для прикладу подаємо схему спицевого затвора при таких даних:

а)  $H = 4$  м — напір;

б)  $l = 1,4$  м — віддаль між опорними фермами;

в)  $\alpha = 15^\circ$  — кут нахилу спиці до вертикалі.

Поперечний переріз спиці взято  $20 \times 20$  см.

Розрахункова довжина дорівнюватиме:

$$AB = l = \frac{H}{\cos \alpha} = 4,10 \text{ м}, \quad (13)$$

а повна довжина спиці становитиме:

$$4,10 + 0,40 = 4,5 \text{ м}$$

Верхня опорна реакція на 1 лін.м отвору буде:

$$B = \frac{H^2}{6} \cdot \frac{16}{5,796} = 2,76 \text{ т} \quad (14)$$

Найбільший момент згину посередині прогону одержимо:

$$M_{\text{макс}} = \frac{Bl^2}{8} = 0,6279 \text{ т.м} \quad (15)$$

Притул для верхньої упори спиць запроектований з труби з зовнішнім діаметром 10 см і внутрішнім — 8 см, товщина стінки — 1 см.

Поперечний переріз такої трубки становитиме:

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = 28,3 \text{ см}^2 \quad (16)$$

Момент інерції:

$$I = \frac{F}{16} (D^2 + d^2) = 290 \text{ см}^4 \quad (17)$$



Момент опору:

$$W = \frac{2I}{D} = 58 \text{ см}^3 \quad (18)$$

Отже напруги в трубчастому притулі дорівнюватимуть:

$$n = \frac{M}{W} = \frac{62790}{58} = 1080 \text{ кг/см}^2 \quad (19)$$

### § 5. Перевірка напруг

Найбільший момент згину для ряду спиць шириною в 1 м і товщиною 20 см дорівнюватиме:

$$M_{\text{макс}} = 0,071 \cdot 4^3 = 4,544 \text{ т.м} = 454400 \text{ кг.см} \quad (20)$$

Тоді момент опору буде:

$$W = \frac{bd^2}{6} = 6667 \text{ см}^3, \quad (21)$$

а найбільша напруга на згин спиць:

$$n = \frac{M}{W} = 67 \text{ кг/см}^2$$

Те саме одержимо, провадячи розрахунок на ширину однієї спиці. Найбільший прогин спиці визначиться за формулою (3/12);

$$y = \frac{0,01304Pl^3}{EI}, \quad (22)$$

де:

$P$  — навантаження за законом трикутника на одну спицю;

$$P = \frac{H^2}{2 \cos \alpha} \cdot 0,20 = 1,64 \text{ т};$$

$l = 4,10 \text{ м}$  — розрахункова довжина спиці;

$E = 100000 \text{ кг/см}^2$  — модуль пружності для сосни;

$$I = \frac{ld^3}{12} = 13333 \text{ см}^4 \text{ — момент інерції для однієї спиці.}$$

Підставляючи значення величин у формулу (22), одержуємо прогин спиці:

$$y = 0,01304 \cdot \frac{1640 \cdot 410^3}{100000 \cdot 13333} = 0,3 \text{ см}$$

Допустимий прогин дорівнює:

$$\frac{l}{400} = 1,2 \text{ см}$$



### § 6. Визначення підйимального зусилля

Найбільше зусилля, потрібне для підймання однієї спиці, враховуючи непередбачені опори, як от примерзання, тертя спиці однієї об одну і затиск на трубчастому притулі, можна визначити за виразом:

$$T_{\text{макс}} = 1,5 \cdot Q = 162 \text{ кг},$$

де:

$Q = 12 \text{ кг}$  — вага однієї спиці, взята із специфікації;

1,5 — коефіцієнт запасу на непередбачені опори.

Посильне для однієї людини зусилля дорівнює в середньому 60 кг яке і потрібне для підняття спиці при напорах до 2,5—3 м; при більших напорах, як показала практика, уже треба застосовувати відповідний підйимальний механізм.

### § 7. Специфікація матеріалів

Дані специфікації матеріалів спицевого затвора зведені в табл. 21 для дерев'яних і в табл. 22 — для металічних деталей.

Таблиця 21

№	Назва деталей (дерев.)	Поперечний переріз (см)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Об'єм (м <sup>3</sup> )
1	Спиці з брусків . . . . .	20 × 20	4,5	7	1,26

Таблиця 22

№	Назва деталей (метал.)	Поперечний переріз або $d$ (мм)	Довжина (м)	Кількість (шт.)	Вага (кг)
1	Полосове залізо . . . . .	50 × 10	1,4	7	42,6
2	Болти . . . . .	$d = 15$	0,15	14	4,8
3	Прокладки . . . . .	200 × 8	0,25	7	22,0
4	Шурупи . . . . .	$d = 10$	0,10	28	2,8
5	Труби для притвля . .	$d = 100$	1,4	1	19,8
	Разом . .	—	—	—	92,0

Вага однієї спиці з металічними до неї частинами: 112 кг.

Вага дерев'яних частин на прогін:  $1,26 \cdot 900 = 1134 \text{ кг}$ .

Повна вага на прогін:  $1134 + 92 = 1226 \text{ кг}$ .

Напірна площа:  $1,4 \cdot 4 = 5,6 \text{ м}^2$ .

На 1 м<sup>2</sup> напірної площі потрібно:

а) дерева:  $\frac{1 \cdot 26}{5,6} = 0,225 \text{ м}^3$ ;

б) заліза:  $\frac{92}{5,6} = 17 \text{ кг}$ .



Розділ X

Орієнтовна вартість матеріалів дерев'яних затворів

§ 1. Принцип визначення вартості

Щоб мати уявлення про вартість запроєктованих типів дерев'яних затворів і можливість порівнювати їх між собою, ми вивели деякі дані як для цілого затвора, так і на  $1 \text{ м}^2$  напірної площі (див. табл. 23).

Напірною вважаємо ту перпендикулярну до флютбета площу, яка фактично утримує тиск води з верхнього б'єфу і дорівнює  $H \cdot l$ , де  $H$  — проектний напір, а  $l$  — розрахунковий прогін (ширина затвора).

Повна вага затворів, підймальна та притискуюча сили, а також кількість лісоматеріалів (дошки, бруски, кругле дерево) та заліза взяті з специфікацій по кожному затвору, поданих у кінці відповідних розділів.

Вартості для всього затвора ділимо на напірну площу, одержуючи дані на  $1 \text{ м}^2$  останньої.

§ 2. Ціни на матеріали та їх доставку

Ціни на матеріали взяті з довідника для будівництва УСРР на 1933 р. (30/119, 131).

Округлені ціни за цим довідником, враховуючи доставку залізницею на віддалі 300 км до станції призначення такі:

Для лісоматеріалів за  $1 \text{ м}^3$  (в крб.):

1) Круглий ліс . . . . .	35
2) Бруски різних розмірів . . . . .	76
3) Дошки різних розмірів . . . . .	65

Для металічних частин за  $1 \text{ т}$  (в крб.):

1) Кутові профілі різні . . . . .	130—140
2) Швелери різних розмірів . . . . .	124—180
3) Рейки різних розмірів . . . . .	130
4) Залізо таврове . . . . .	147
5) „ листове . . . . .	130—150
6) „ дахове . . . . .	215
7) Цвяхи різні . . . . .	375
8) Болти „ . . . . .	300

В запроєктованих типах дерев'яних затворів, а також і в металічних плоскоригельних, з якими робимо нижче порівнення, 60—70% від усієї кількості металу припадає на кутове й листове залізо, швелери та рейки, і тому середню орієнтовну вартість заліза ми беремо в 140 крб. за  $1 \text{ т}$ . або 14 коп. за  $1 \text{ кг}$ .

Крім того нами врахована і доставка матеріалу автогужовим транспортом на місце робіт на середній віддалі 20 км. Ціни взяті з довідника тимчасових тарифів на автогужові перевози по Київській обл. на 1935 р. (19/12), при чому лісоматеріали залічені до VI класу, а залізні частини — до IV.



Вартість доставки 1 т дерева на віддалі 20 км становить 34 крб. 40 коп., а доставки 1 т заліза на такій самій віддалі — 39 крб. 40 коп.

### § 3. Аналіз показчиків для порівнення

Обчислені дані по кожному типу затвора зведені в табл. 23, з якої видні переваги застосування певних типів дерев'яного затвора перед іншими <sup>1)</sup>.

У таблиці 23 дробові числа показують:

а) Для секторного затвора чисельник — значення відповідних величин при застосуванні до вала двох швелерів № 20, знаменник — ті самі величини, при дерев'яному валі без швелерів.

б) Для сегментного затвора (№ 6) чисельник — значення відповідних величин при застосуванні до вала залізних тяжів, знаменник — при відсутності їх.

в) Для щитків Буле чисельник — значення величин при дерев'яних відкидних стояках, знаменник — при залізних.

Підймальне зусилля та притискуюча сила зазначені лише для нижнього щитка. У графі „повна вага“ наведена вага верхнього та нижнього щитків; за прогін взята віддаль між стояками.

г) Для спицевих затворів показана підймальна сила, потрібна для однієї спиці; за прогін взята віддаль між опорними фермами 1,4 м.

## Розділ XI

### Порівнення дерев'яних затворів з металічними

#### § 1. Показчики для порівнення

Запроектовані дерев'яні затвори порівнюємо з металічними плоскоригельними затворами типу Стоней, тому, що останні найбільше підходять до наших прикладів (невеликі напори та прогони) і вага та вартість їх менша від інших, — наприклад, секторних або циліндричних. Для порівнення виводимо такі показчики:

- 1) відношення повної ваги дерев'яних затворів до металічних;
- 2) відношення кількості металу в дерев'яних затворах до металічних;
- 3) економія на 1 м<sup>2</sup> напірної площі металу в кілограмах і процентах.

Вагу дерев'яних затворів та кількість металу в них беремо з специфікацій та табл. 23. Вартість заліза з доставкою на місце робіт для металічних затворів взята попередня — 179 крб. 40 коп. за 1 т або 17,94 за 1 кг.

Показчик на 1 м<sup>2</sup> напірної площі для металічних затворів визначаємо, як і для дерев'яних, — тобто ділимо дані для всього затвора на напірну площу.

<sup>1)</sup> Показчики на 1 м<sup>2</sup>, напірної площі будуть безперечно правильні і вирішальні тільки для затворів з однаковими напорами та прогонами, а для наших прикладів вони лише орієнтовні.



Таблиця 23

№	Тип затвора	Напірна площа $H_1$ (м)	Повна вага (т)	Підіймальна сила (т)	Притискаюча сила (т)	Для всього затвора					На 1 м <sup>2</sup> напірної площі				
						Дерева (м <sup>2</sup> )	Заліза (кг)	Варт. дерева (крб.)	Варт. заліза (крб.)	Разом (крб.)	Дерева (м <sup>2</sup> )	Заліза (кг)	Вартість дерева (крб.)	Вартість заліза (крб.)	Разом (крб.)
1	Затвір з брусків . . .	3 × 5	3,8	7,4	2,55	3,774	401	408,76	71,94	475,70	0,258	26,7	26,88	4,79	31,67
2	Плоский затвір на дерев'яних ригелях . .	3 × 5	3,5	7,0	1,74	3,504	336	365,90	60,28	426,18	0,234	22,4	24,37	4,03	28,40
3	Плоский затвір на ригелях з залізними шпиренгелами . . .	4 × 6	3,92	8,6	4,36	3,378	882	347,23	158,23	505,46	0,141	36,8	14,45	6,60	21,05
4	Арочний затвір . . .	3 × 6	4,6	8,8	3,00	4,586	485	479,62	87,01	566,63	0,254	26,9	26,63	4,84	31,47
5	Секторний затвір з плоскою обшивкою . . .	3 × 6	$\frac{5,3}{5,0}$	6,1	0	5,246	$\frac{534}{210}$	411,93	$\frac{95,80}{37,67}$	$\frac{507,73}{449,60}$	0,291	$\frac{29,6}{11,7}$	22,90	$\frac{5,32}{2,10}$	$\frac{28,22}{25,00}$
6	Сегментний затвір з циліндричною обшивкою . . .	4 × 6	$\frac{8,5}{8,0}$	7,3	0	8,555	$\frac{766}{217}$	768,37	$\frac{137,42}{38,95}$	$\frac{905,79}{807,30}$	0,357	$\frac{31,9}{9,4}$	32,00	$\frac{5,70}{1,60}$	$\frac{37,79}{33,60}$
7	Шитки Буле при відкидних стояках . . .	3 × 2	$\frac{0,30}{0,39}$	7,7	0,76	$\frac{1,305}{0,69}$	$\frac{102}{429}$	$\frac{140,12}{72,81}$	$\frac{18,30}{77,30}$	$\frac{158,42}{150,11}$	0,218	17,0	23,35	$\frac{3,05}{12,87}$	$\frac{26,40}{25,00}$
8	Спицеві затвори . . .	4 × 1,4	0,11	1,6	0	1,26	92	134,76	16,50	151,26	0,225	170,	22,1	3,05	22,20



## § 2. Визначення даних

Вагу металічних плоскоригельних затворів вазначаємо за формулою інж. В. В. Дмитрієва (11/27):

$$Q = 0,0041 \text{ IH}^2\sqrt{H} + 0,009 \text{ l}^2\text{H}^3\sqrt{H} \quad (1)$$

при допустимій напрузі  $1200 \text{ кг/см}^2$  в обшивці та  $1000 \text{ кг/см}^2$  в ригелях<sup>1)</sup>.

Кількість металу ( $M$ ) в металічних затворах одержимо, відкинувши від повної ваги затвора ( $Q$ ) вагу дерев'яних частин ( $D$ ) в пороговому та двох бокових ущільненнях; цю останню величину орієнтовно визначаємо за формулою (11/20):

$$D = 10 (3l + 2H) \text{ кг} \quad (2)$$

Отже

$$M = Q - D \quad (3)$$

У формулах (1), (2) та (3):

$Q$  — повна вага в тоннах;

$D$  — вага дерев'яних частин в кілограмах;

$M$  — кількість металу в кілограмах;

$H$  і  $l$  — напір та прогін у метрах.

## § 3. Порівнення затворів при $H = 3 \text{ м}$ і $l = 5 \text{ м}$

Для металічного плоскоригельного затвора при таких напорі і прогоні маємо:

$Q = 1,995 \text{ т}$  — повна вага затвора;

$D = 10 (3 \cdot 5 + 2 \cdot 3) = 210 \text{ кг}$  — вага дерев'яних частин;

$M = 1995 - 210 = 1785 \text{ кг}$  — кількість металу.

Орієнтовна вартість металу цього затвора становитиме:

$$1,785 \cdot 179,40 = 320 \text{ крб.}$$

На  $1 \text{ м}^2$  напірної площі потрібно металу:

$$\frac{1785}{15} = 119 \text{ кг}$$

А. Порівнюючи дерев'яний затвір з брусків з металічним, одержуємо такі показники:

1) Відношення повної ваги дерев'яного затвора до ваги металічного:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{3,8}{2,0} = 1,9$$

2) Відношення металу дерев'яного затвора до металічного:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{401 \cdot 100}{1785} = 22,5\%$$

<sup>1)</sup> Вага затвора, визначена за цією формулою, дає дуже незначні розходження з дійсною вагою; інші ж формули, — як, наприклад, інж. Мелентьєва, інж. Мозиря (Німеччина), Бірля і Майна (Америка) дають значні відхилення.



3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$119 - 26,7 = 92,3 \text{ кг, або } \frac{92,3 \cdot 100}{119,0} = 77,5\%$$

В. Порівнюючи дерев'яний плоскоригельний затвір на дерев'яних ригелях (розд. III, § 9, схема — лист II) з металічним, одержуємо:

1) Відношення ваги затворів:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{3,5}{2,0} = 1,75$$

2) Відношення заліза в процентах:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{336 \cdot 100}{1785} = 18,7\%$$

3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$119 - 22,4 = 96,6 \text{ кг, або } \frac{96,6 \cdot 100}{119,0} = 81,3\%$$

#### § 4. Порівнення затворів при $H = 3 \text{ м}$ і $l = 6 \text{ м}$

Для металічного плоскоригельного затвора при таких напорі і прогоні маємо:

$$Q = 2,95 \text{ т;}$$

$$D = 10 (3 \cdot 6 + 2 \cdot 3) = 240 \text{ кг;}$$

$$M = Q - D = 29,50 - 240 = 2710 \text{ кг.}$$

Орієнтовна вартість металу становитиме:

$$2,710 \cdot 179,40 = 487 \text{ крб.}$$

На 1 м<sup>2</sup> напірної площі одержимо металу:

$$\frac{2710}{18} = 150,6 \text{ кг}$$

А. Порівнюючи дерев'яний аروحний затвір (розд. V, § 10, схема — лист IV) з металічним, одержимо такі показники:

1) Відношення ваги затворів:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{4,6}{2,95} = 1,56$$

2) Відношення заліза у процентах:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{485 \cdot 100}{2710} = 17,9$$

3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$150,6 - 26,9 = 123,7 \text{ кг, або } \frac{123,7 \cdot 100}{150,6} = 82,1\%$$



Б. Порівнюючи секторний затвір з плоскою обшивкою (див. розд. VI, § 10, схема — лист V) з металічним, одержимо такі дані:

Коли вісь лише з дерева:

1) Відношення ваги затворів:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{5,0}{2,95} = 1,7$$

2) Відношення заліза в процентах:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{210 \cdot 100}{2710} = 7,8\%$$

3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$150,6 - 11,7 = 138,9 \text{ кг, або } \frac{138,9 \cdot 100}{150,6} = 92,2\%$$

Коли вал підсилений металічними частинами:

1) Відношення ваги затворів:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{5,3}{2,95} = 1,8$$

2) Відношення заліза в процентах:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{534 \cdot 100}{2710} = 19,7$$

3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$150,6 - 29,6 = 121,0 \text{ кг, або } \frac{121,0 \cdot 100}{150,6} = 80,3\%$$

### § 5. Порівнення затворів при $H = 4$ м і $l = 6$ м

Для металічного плоскоригельного затвора при таких напорі і прогоні маємо такі дані:

$$Q = 4,539 \text{ т;}$$

$$D = 10 (3l + 2H) = 10 (3 \cdot 6 + 2 \cdot 4) = 260 \text{ кг;}$$

$$M = Q - D = 4539 - 260 = 4279 \text{ кг.}$$

Вартість металу:

$$4279 \cdot 17,94 = 769 \text{ крб. } 80 \text{ коп.}$$

На 1 м<sup>2</sup> напірної площі одержимо:

а) металу:  $\frac{4279}{24} = 178 \text{ кг;}$

б) вартість:  $\frac{769,80}{24} = 32 \text{ крб.}$

А. Порівнюючи дерев'яний плоскоригельний затвір на залізних шпренгелях (див. розд. IV, § 5, схема — лист III) з металічним затвором таких же розмірів, одержимо:



1) Відношення ваги затворів:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{3,9}{4,539} = 0,86$$

2) Відношення заліза в процентах:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{882 \cdot 100}{4279} = 20,6$$

3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$178,0 - 36,8 = 141,8 \text{ кг, або } \frac{141,8 \cdot 100}{178} = 79,4\%$$

Б. Порівнюючи дерев'яний сегментний затвір з циліндричною обшивкою (див. розд. VII, § 8, схема — лист VI) з металічним плоскоригельним таких же розмірів, одержимо:

Коли вал підсилений залізними тяжами:

1) Відношення ваги затворів:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{8,5}{4,539} = 1,9$$

2) Відношення заліза в процентах:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{766 \cdot 100}{4279} = 18,3$$

3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$178,0 - 31,9 = 146,1 \text{ кг,}$$

тобто

$$\frac{146,1 \cdot 100}{178,0} = 81,7\%$$

Коли вал лише дерев'яний:

1) Відношення ваги затворів:

$$\frac{Q_{\text{дер}}}{Q_{\text{мет}}} = \frac{8,0}{4,539} = 1,7$$

2) Відношення заліза в процентах:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{217 \cdot 100}{4279} = 5,1$$

3) Економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі:

$$178,0 - 9,4 = 168,6 \text{ кг,}$$

тобто

$$\frac{168,6 \cdot 100}{178,0} = 94,9\%$$



### § 6. Порівнення щитків Буле при відкидних стояках

(розд. VIII, § 6, схема — лист VII)

Для металічного плоскоригельного затвора при  $H=3$  м і  $l=2$  м, маємо такі приблизні дані:

$$Q = 520 \text{ кг};$$

$$D = 10 (3 \cdot 2 + 2 \cdot 3) = 120 \text{ кг};$$

$$M = 5200 - 120 = 400 \text{ кг}$$

Вартість металу:

$$400 \cdot 17,94 = 31 \text{ крб. } 76 \text{ коп.}$$

На  $1 \text{ м}^2$  напірної площі потрібно металу:

$$400 \cdot 6 = 66,7 \text{ кг}$$

А. Коли щитки Буле при металічних відкидних стояках, то відношення металів у процентах буде таке:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{429 \cdot 100}{400} = 107$$

Отже така конструкція потребує заліза на 7% більше, ніж металічний затвір таких же розмірів, а це суперечить принципів максимальної заміни металу деревом.

Б. При дерев'яних відкидних стояках відношення металів буде таке:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{102 \cdot 100}{400} = 25,5,$$

а економія металу на  $1 \text{ м}^2$  напірної площі:

$$66,7 - 17,0 = 49,7 \text{ кг, або } 74,5\%.$$

### § 7. Порівнення запроєктованого типу спицевого затвора з металічним

(див. розд. IX, § 7, схема — лист VIII)

Для металічного плоскоригельного затвора при  $H=4$  м,  $l=1,4$  м, маємо такі приблизні дані (11/34):

Кількість заліза 335 кг, а на  $1 \text{ м}^2$  напірної площі одержимо:

а) металу:  $\frac{335}{4 \cdot 1,4} = 60 \text{ кг};$

б) вартість:  $60 \cdot 17,94 = 10 \text{ крб. } 78 \text{ коп.}$

Беручи дані для порівнення з табл. 23 для спицевого затвора, знаходимо таке відношення металів на прогін  $1,4$  м:

$$\frac{M_{\text{дер}}}{M_{\text{мет}}} = \frac{92 \cdot 100}{335} = 28,3$$

Отже економія металу на  $1 \text{ м}^2$  напірної площі дорівнює:

$$60 - 17 = 43 \text{ кг,}$$

тобто

$$\frac{43,0 \cdot 100}{60} = 71,7\%$$



## § 8. Аналіз показників для порівняння

Одержані дані для порівняння запроєктованих типів дерев'яних затворів з металічними плоскоригельними зведені в табл. 24.

У цій таблиці для дерев'яних щитків Буле взята сумарна вага верхнього та нижнього щитків:  $0,30 + 0,39 = 0,69$  т. Для спицевих затворів взята повна вага спиць на прогін 1,4 м.

Останні дві графи наближено характеризують доцільність та економічність застосування дерев'яних затворів замість металічних з погляду заміни металу деревом.

Коли ж порівняти повні вартості матеріалів, тобто врахувати і дерев'яні частини, то при однакових напорах і прогонах деякі типи дерев'яних затворів будуть важчі й дорожчі від металічних. Проте це не може бути запереченням проти широкого застосування дерева замість металу для затворів гідротехнічних споруд, тому що дерево для всякого будівництва і в усякому місці Радянського Союзу завжди можна дістати в достатній кількості.

## Розділ XII

### Висновки

Минув уже той час, коли на дерево дивились як на сировину, з якої виготовляють дрова та лико і з якої можна будувати лише тимчасові, другорядні легенькі споруди та конструкції.

Дерево як будівельний матеріал має свої позитивні властивості і до певної міри навіть переваги перед дефіцитними й дорогими матеріалами (металом та бетоном).

Тепер багато фахівців-будівників вважають дерево матеріалом, який повинен мати велике значення в нашому соціалістичному будівництві.

Практика, досліди та відповідні розрахунки потверджують, що з дерева можна будувати найскладніші відповідальні споруди — як цивільні інженерні, так і гідротехнічні.

Головні хиби дерева як будівельного матеріалу (горіння, гниття, руйнування живими організмами, малі строки служби) значною мірою усунені (12/29—38) консервуванням, просяканням і пофарбуванням відповідними антисептичними та вогнезахисними речовинами.

Строки служби можна збільшити в два-три рази. Німецький інженер Гестеші подає чимало прикладів, якими доводить, що в багатьох випадках дерев'яні споруди мали довші строки служби, ніж металічні (5/9), особливо в таких місцях, де виділяється багато газів, пари, диму, — як наприклад, перекриття в паровозних депо, на хемічних фабриках, заводах тощо. В таких умовах дерево консервується і міцніє, а залізо — навпаки, ржавіє і руйнується паром, димом і газами хемічних продуктів.

Застосування дерева в санітарній техніці цілком себе виправдало. Дерев'яні труби для водопроводу клали ще здавна; наприклад, в Америці



Таблиця 24

№№	Назва дерев'яного затвора	№ схеми (лист)	Напр (м)	Протн (м)	Для дерев'яного затвора			Для металічного затвора при однак. Н і І			Відношення ваги	Віднош. металів на 1 м напної площі (%)	Економія металу на 1 м <sup>2</sup> напної площі	
					Повна вага (т)	Кількість металу (кг)	Вартість металу (крб.)	Повна вага (т)	Кількість металу (кг)	Вартість металу (крб.)			кг	%
1	Плоский з брусків . . . . .	I	3	5	3,8	401	71,94	2,0	1785	320	1,9	22,5	92,3	77,5
2	Плоский на дерев'яних ригелях . . . . .	II	3	5	3,5	316	60,28	2,0	1785	320	1,75	18,7	96,6	81,3
3	Плоский на залізних шпренгелях . . . . .	III	4	6	3,9	882	158,28	4,54	4279	770	0,86	20,6	141,2	79,4
4	Арочний . . . . .	IV	3	6	4,6	485	87,01	2,95	2710	487	1,56	17,9	123,7	82,1
5	Секторний з плоскою обшивкою лише з дерев. валом . . . . .	V	3	6	5,0	210	37,67	2,95	2710	487	1,7	7,8	143,0	92,2
6	Те ж, вал підсилений металічними частинами (швелерами № 20) . . . . .	V	3	6	5,3	534	95,80	2,95	1710	487	1,8	19,7	121,0	80,3
7	Сегментний з циліндр. обшивкою з дерев. валом . . . . .	VI	4	6	8,0	217	38,93	4,54	4279	770	1,7	5,1	168,6	94,9
8	Те ж, вал підсилений залізними тяжами	VI	4	6	8,5	766	137,42	4,54	4279	770	1,9	18,3	146,1	81,7
9	Щитки Буле при металічних стояках	VII	3	2	0,69	429	77,30	0,52	400	71,8	1,3	107	-0,66	-7
10	Те ж при дерев'яних стояках . . . . .	VII	3	2	0,69	102	18,30	0,52	400	71,8	1,3	25,5	49,7	74,5
11	Спицеві затвори . . . . .	VIII	4	1,4	1,23	92	16,50	0,50	335	60,10	2,4	25,3	43,0	71,7



перший водопровід з дерев'яних труб збудовано в 1652 р., в Лондоні дерев'яні труби застосовуються з 1619 р., у нас в Ленінграді Пулковський водопровід, що існує і досі, збудовано з дерев'яних труб в 1810 році, при розкопах в Ленінграді і Муромі знайдені були дерев'яні труби з бронзовими муфтами.

При вмілому конструюванні та належних розрахунках витрати дерева у дерев'яних спорудах можна довести до мінімуму, беручи разом з тим залізо лише в зовсім незначній кількості.

Питання про застосування дерева для затворів гідротехнічних споруд нове, і його треба ставити значно ширше, ніж це можна передбачати з наших схематичних проектів, в яких подано лише один з можливих варіантів конструкції затворів як у цілому, так і окремих вузлів; при детальному проектуванні можна дати більш раціональні й конструктивні форми сполучення дерев'яних елементів.

Доцільність та економічність дерев'яних затворів безумовна і очевидна, не зважаючи на більшу вагу дерев'яних затворів проти металічних та малі строки їх служби (10—15 років). Економію металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі, як видно з табл. 24, маємо від 95 до 72%.

Далі наводимо коротку характеристику окремих типів затвора.

1. Брусчатий затвір. Легка і проста конструкція. Виготовлення і встановлення потребує мало часу і не значну кількість найпростіших деталей — як дерев'яних, так і металічних. Отже переваги цього типу перед іншими особливо очевидні при потребі в швидкому поставленні затвора.

Застосовувати цей тип затвора можна для напорів до 3 м і прогонів до 5 м.

Великий тиск води на затвір знизу обумовлюється самою його конструкцією (широкий нижній брусок).

Щоб зменшити вагу затвора, підймальну силу, а також дати простіші підймальні механізми, раціональним було б конструювати затвір з окремих щитків, по 4—5 брусків. При такій конструкції не потрібні будуть довгі наскрізні болти, а також краще буде забезпечена робота затвора та умови експлуатації.

2. Плоскоригельний затвір. При багатьох ригелях трудно забезпечити нормальну роботу такої конструкції, в зв'язку з усушкою, розбуханням та деформаціями. Треба буде часто підтягати чи опускати болти, які скріплюють брусчаті ригелі, або ж регулювати довжину тяжів стяжними муфтами у шпренгельних ригелях. Чим менша кількість ригелів (2—3 шт.), тим простіша і легша експлуатація і обслуговування.

Отже розміри цих затворів залежать від кількості ригелів; найбільші напори можна допустити в 3—4 м, а прогони — в 5—6 м. Для плоскоригельного затвора з металічними шпренгелями потрібно значно менше дерева, ніж для всіх інших затворів (див. табл. 23), а саме 0,14 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> напірної площі.

3. Арочний затвір. Цілком нова і оригінальна конструкція автора. Бажано було б цей тип затвора перевірити на дослідах, хоч би в лабораторних умовах.



На основі даних практики, широкого застосування арочних конструкцій в багатьох галузях будівництва і наших власних відповідних розрахунків ми вважаємо можливим застосування арочного типу затвора і для гідротехнічних споруд. Таким затвором можна перекривати отвори, висотою до 5 м і з прогоном до 8 м; це є основною особливістю та перевагою арочного затвора над рештою типів.

Слабке місце в цих затворах є конструювання опорних вузлів, на що і варто звернути особливу увагу. Вага арочного затвора, кількість дерева та металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі менша, наприклад, ніж у інших затворів (див. табл. 23 і 24).

4. Секторні затвори. Ці типи затворів найбільш економічні щодо максимальної заміни металу деревом; економія металу на 1 м<sup>2</sup> напірної площі становить до 95% від металічних плоскоригельних затворів при однакових напорах та прогонах. Крім того, плоску чи циліндричну напірну площу завжди можна поставити так, що зовсім не потрібно буде притискуючої сили для опускання затвора на флютбет, чого не можна уникнути в інших типах.

Підіймальна сила для цих затворів потрібна менша проти всіх плоских затворів, завдяки тому, що великі гальмуючі сили на опорних частинах (ролики, котки) замінені при обертовому способі піднімання на незначні сили тертя в підшипниках горизонтальної осі.

Вал треба проектувати лише з самого дерева, не підсилюючи його металічними частями; це значною мірою зменшує кількість металу, потрібного для затвора. Отже підшипники треба ставити близько від ригельних ніг, або й проти них, доводячи цим момент згину у валі до мінімуму.

Вважаємо можливим обійтися без суцільного вала в самому затворі, пропускаючи його через бики, а на виступи вала спираючи ригельні ферми; цю думку треба обґрунтувати відповідним розрахунком та конструкцією.

Вагу цих затворів і кількість дерева можна значно зменшити, застосувавши принцип консольності і обійшовшись без середньої ригельної ферми.

Секторні затвори можна ставити при напорах 4—5 м і прогонах 6—8 м, коли не давати суцільного вала в самому затворі.

5. Щитки Буле. Цей тип затвора варто запроваджувати тоді, коли треба перекрити великий прогін, в 10 м і більше, без проміжних биків, і одержати більшу пропускну здатність отвору, не звужуючи його живого перерізу.

Виходячи з принципу максимальної заміни металу деревом, треба відмовитись від залізних відкидних стояків, при яких залізо потрібне навіть в більшій кількості, ніж при металічних затворах (див. табл. 24).

Складні ж дерев'яні стояки застосовувати раціонально, наприклад, їх запроваджено на Пало-Коргській греблі Біломорсько-Балтійського каналу.

Найбільший напір для цього типу затворів 3—4 м при віддалі між опорними стояками 1,2—2 м.



6. Спицеві затвори. При цих затворах бувають великі втрати води через щілини між спицями, і тому цей тип затвора рекомендується для тих випадків, де не треба економити воду, де є великі паводки і коли треба швидко звільнити отвір.

Щоб запобігти втратам води, можна застосовувати з напірного боку штори, але це значно удорожить тип цього затвора.

Можливі напори—3—4 м, віддаль між опорними фермами визначається розрахунком, залежно від конструкції та матеріалу верхнього притула для спиць і буває 1,5—3 м (17/137).

Отже, кожний тип затвора має свої особливості, свої позитивні і негативні сторони, своє місце для застосування. В цілому переваги треба надати секторним та арочним затворам, як щодо економічності, так і щодо застосовності їх для малих і середніх напорів і прогонів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Проф. С. П. Тимошенко, Сопротивление материалов, Москва 1928.
2. Акад. К. К. Симинский, Курс статики сооружений, Киев 1930.
3. Акад. К. К. Симинский, Неразрезные балки, Киев 1930.
4. Проф. И. П. Прокофьев, Теория сооружений, т. II, Москва 1933.
5. Инж. Т. Гестеши, Деревянные сооружения, пер. с нем., Москва 1931.
6. Проф. А. Ф. Астафьев, Справочная книга по бетону и железобетону, 1929.
7. Инж. О. Штрек, Гидротехнические расчеты, пер. с нем., Москва 1932.
8. Инж. В. Г. Гебель, Затворы гидротехнических сооружений, вып. I, Москва 1928.
9. Инж. А. Грегор, Металлические конструкции, т. I, пер. с нем., Москва 1930.
10. Инж. С. С. Парев, Дерев'яні конструкції, Харків 1932.
11. Инж. В. В. Дмитриев, Металлические конструкции гидротехнических сооружений, Москва 1932.
12. Инж. Г. А. Цвингман, Деревянные конструкции в капитальном строительстве СССР, Москва 1932.
13. Проф. К. А. Михайлов, Проектирование ирригационных сооружений на сети, вып. 1, Ташкент 1932.
14. Инж. Н. Шестопал, Деревянные перекрытия в свете новой строительной механики, ст. в журн. „Вестник инж. и техн.“, 1932, № 2.
15. Инж. Н. А. Ладыгин, Железобетонные затворы, ст. в журн. „Гидротехн. строительство“, 1933, № 6.
16. Проф. Н. И. Анисимов, Гидроэлектрические силовые установки, Москва 1930.
17. Проф. Н. И. Анисимов, Водоподъемные плотины, Москва 1931.
18. Проф. Н. И. Анисимов, Водохранилищные плотины, Москва 1931.
19. Проф. К. А. Акулов и Козлов, Курс внутренних водных сообщений, т. II, Москва 1929.
20. Проф. В. В. Подарев, Гидротехнические сооружения, ч. I, вып. I, Москва 1923.
21. Д. Я. Акимов-Перец, Расчет рамных систем, изд. 2, Ленинград 1932.
22. Проф. К. В. Попов, Деревянные плотины, Москва—Ленинград 1929.
23. Инж. Аравин, О наиболее выгоднейшей величине пролетов плоских деревянных затворов, ст. в журн. „Известия Н.-и. инст. гидротехники“, 1931, № 3.
24. Акад. Е. О. Патон, Таблицы для проектирования деревянных и стальных мостов, Киев 1929.
25. Справочник по мелиорации и гидротехнике, 1934.
26. Инж. Н. А. Семенов, Деревянные плотины, Ленинград, 1933.
27. Проф. Б. Ю. Калинович, Начало теории бетонных плотин, Ленинград 1934.



28. Единые нормы строительного проектирования, серия XIV, Общие расчетные нормы. Москва 1931.
29. Инж. С. С. Царев, Довідник будівника, вид. 3, Харків 1932.
30. Ценник-справочник для строительства УССР на 1933 г., изд. Госпланэкономкомиссии, Харьков.
31. Инж. Турлай, Деревянные бензинохранилища, ст. в журн. „Строит. промышленность“, 1935, № 3.
32. А. П. Бугузов, Гидроэлектростроительство к 14-й годовщине Октября, ст. в журн. „Гидротехн. строительство“, 1931, № 10.
33. Проф. В. В. Подарев, Новейшие конструкции плотинных затворов, Москва 1932.
34. В. А. Гастьев, Железобетонные конструкции, изд. 3, Ленинград 1932.
35. Проф. В. Ю. Калинович, Судходный шлюз и его расчет, Москва 1932.
36. Инж. Бронек, Деревянные сооружения, 1931.
37. Акад. Е. О. Патон, Деревянные мосты, Киев 1910.
38. Проф. Г. Кулька, Металлические затворы плотин, пер. с нем., Москва 1934.
39. Довідник тимчасових тарифів на автогужові перевозки по Київській обл. на 1935 р., Київ.
40. Беломорско-Балтийский канал им. Сталина, История строительства, под ред. М. Горького и др., Москва 1934.
41. Проф. Н. И. Анисимов, Водопуски и водосливы. Москва 1935.

### Резюме

В области гидротехнического проектирования и строительства неизбежны трудности при выборе типа, конструкции и материалов для затворов, а тем более при отсутствии достаточных литературных источников, типовых проектов и стандартов, что в значительной мере облегчило бы проектирование и изготовление затворов.

Современная практика, опыты и соответствующие расчеты показывают, что из дерева можно строить самые сложные и ответственные сооружения как гражданские, инженерные, так и гидротехнические. Применение дерева для затворов гидротехнических сооружений особенно для малых и средних напоров и пролетов, и замена дефицитных металлов вполне возможна и желательна.

Нами разработано восемь типов деревянных затворов разной конструкции: плоские затворы из брусков, плоскоригельные на деревянных ригелях и металлических шпренгелях, секторные с досчатой плоской и цилиндрической обшивкой, новый тип арочного затвора, щитки Буле при откидных деревянных и металлических стойках и спицевые затворы. Ко всем типам даны расчеты, спецификации материалов и выведены ориентировочные их стоимости. Кроме того приведено сравнение запроектированных типов затворов как между собою, так и с металлическими плоскоригельными.

Каждый тип затвора, как один из возможных вариантов, представлен в приложении в конце работы на отдельном листе.



### Zusammenfassung

Auf dem Gebiete des hydrotechnischen Projektierens und Baues sind Schwierigkeiten bei der Auswahl des Konstruktionstyps und der Materialien für die Verschlüsse unvermeidlich, was durch das Fehlen genügender Literaturquellen, typischer Projekte und Standards verstärkt wird, welche das Projektieren und die Verfertigung der Verschlüsse bedeutend erleichtert hätten.

Die zeitgenössische Praxis, Versuche und entsprechende Berechnungen zeigten, dass man aus Holz die kompliziertesten und verantwortlichsten Bauten, wie Zivil- und Ingenieurbauten, hydrotechnische Konstruktionen errichten kann. Die Anwendung von Holz für Verschlüsse hydrotechnischer Konstruktionen, besonders für kleine und mittlere Drücke und Spannweiten, und der Ersatz von fehlenden Metallen sind völlig möglich und sogar erwünscht.

Wir haben acht Holzverschlussstypen verschiedener Konstruktion ausgearbeitet: Flachverschlüsse aus Balken, Flachriegelverschlüsse aus Holzriegeln und Metallsprengwerken, Sektorverschlüsse mit flacher Bretter- und Zylinderverkleidung, ein Bogenverschluss von neuem Typ, Boulé-Schützen mit umlegbaren Holz- und Metallstützen und Speichenverschlüsse. Für alle Typen sind Berechnungen, Spezifikationen der Materialien abgegeben und ein annähernder Kostenanschlag angeführt. Ausserdem wird ein Vergleich der projektieren Verschlussstypen untereinander und mit Flachriegelverschlüssen aus Metall wiedergegeben.

Jeder Verschlussstyp ist als eine der möglichen Varianten am Ende der Arbeit dargestellt,

---



ДОДАТКИ



11

201

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10



ПОДАТОК

$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$   
 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$   
 $\frac{1}{16} \times \frac{1}{16} = \frac{1}{256}$   
 $\frac{1}{256} \times \frac{1}{256} = \frac{1}{65536}$

1/256







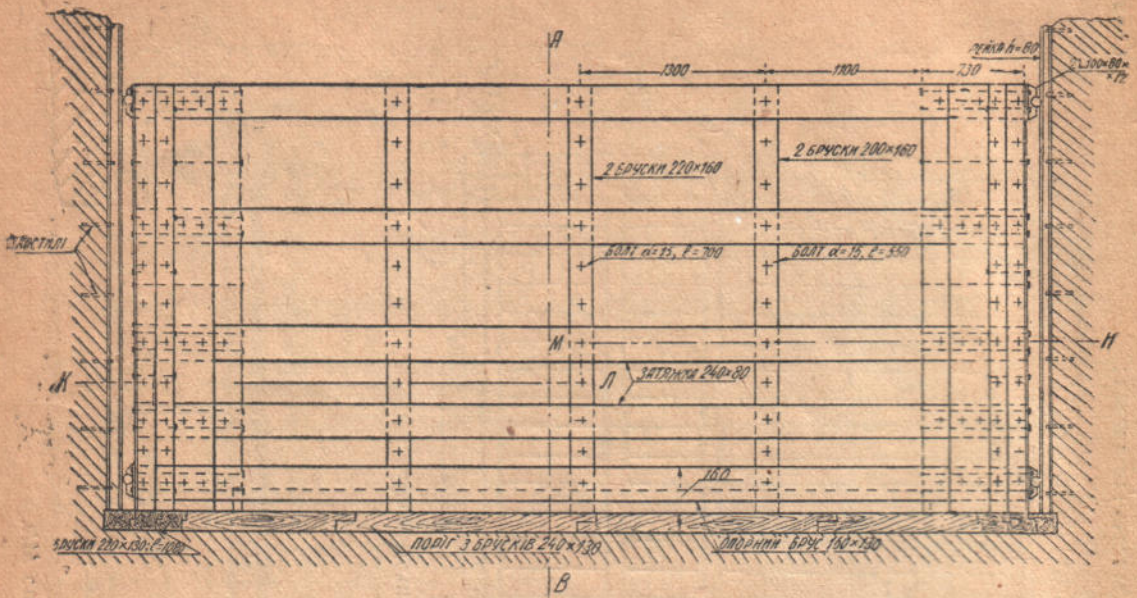




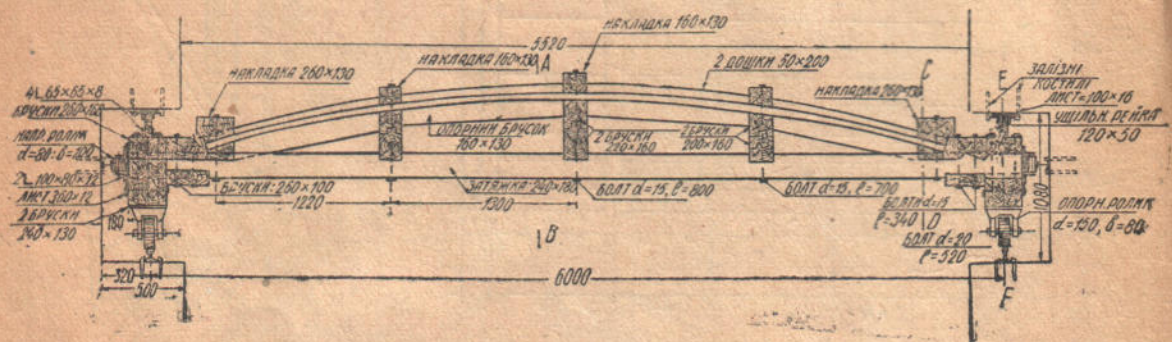




Арочний затвір:



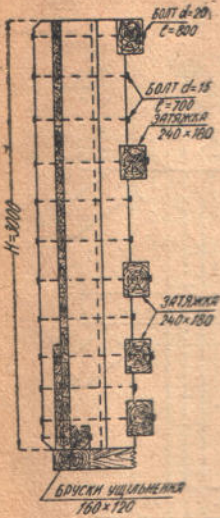
Фасад з нижнього б'єфу.



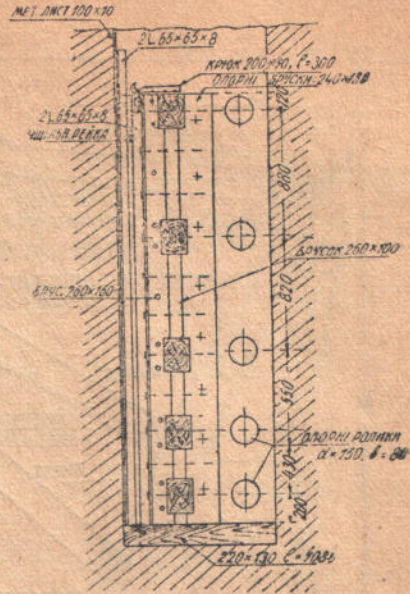
План по КЛМН.



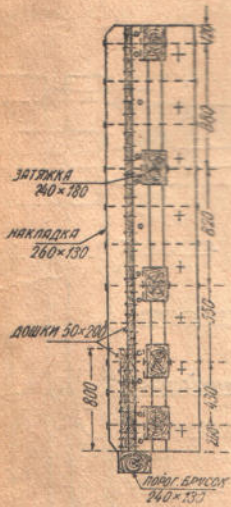
$H = 3 \text{ м}, l = 6 \text{ м}$



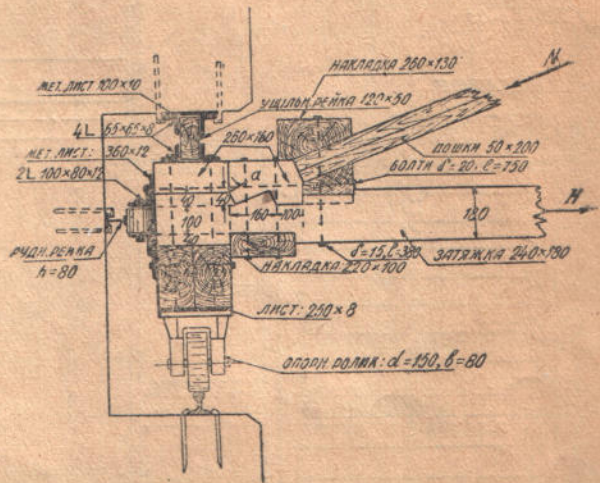
Розріз по AB.



Розріз по EF.



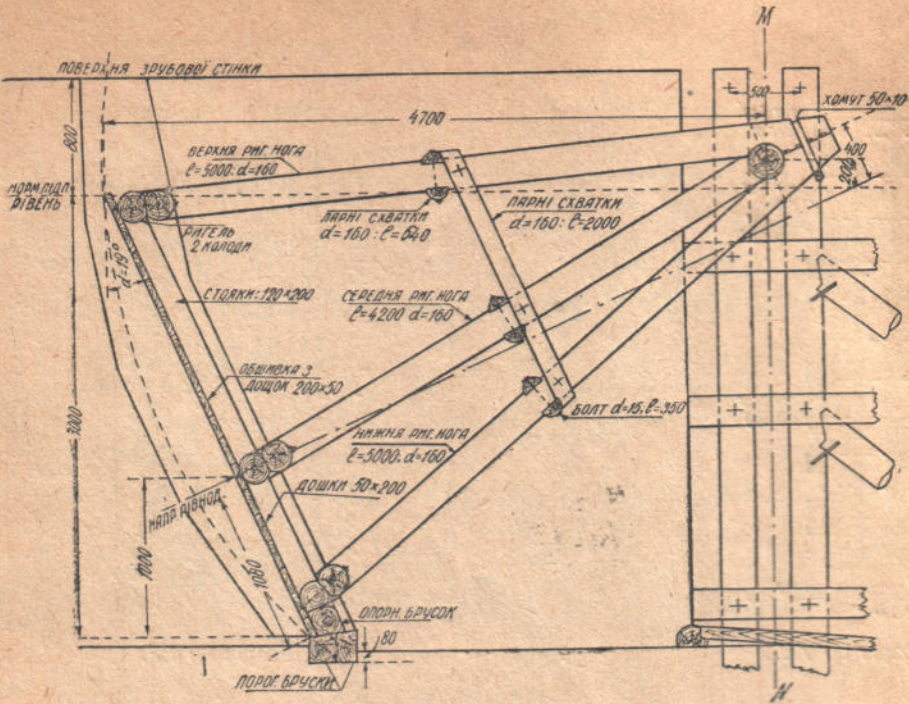
Розріз по CD.



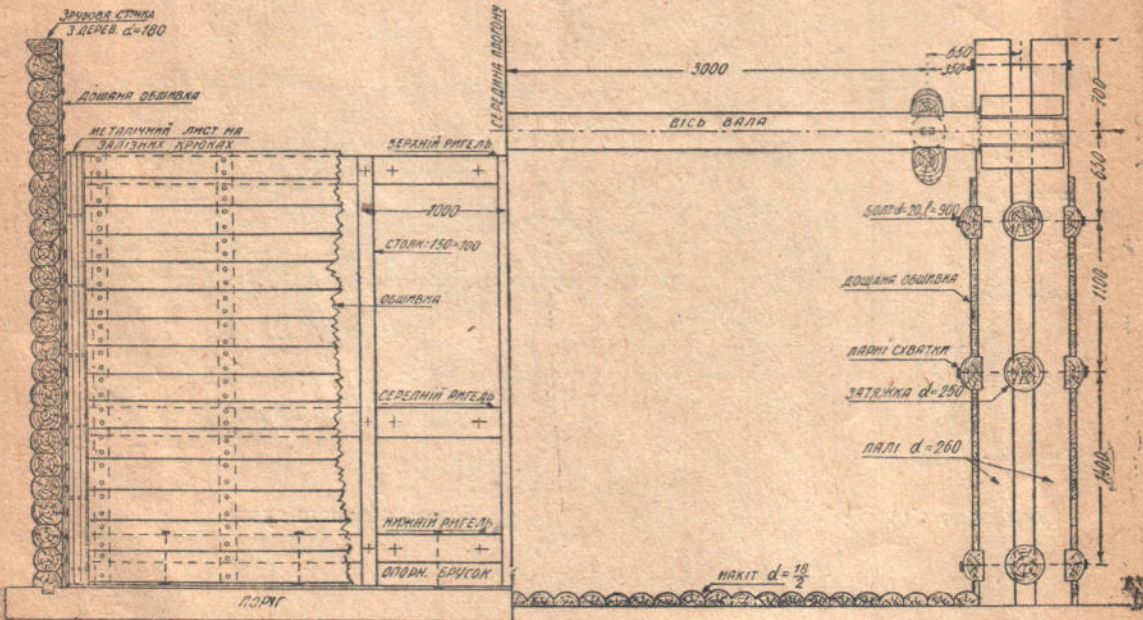
Деталь опорного вузла.



Секторний затвір з плоскою



Розріз по АВ (див. план).



Фасад з верхнього б'єфу. Розріз по MN.



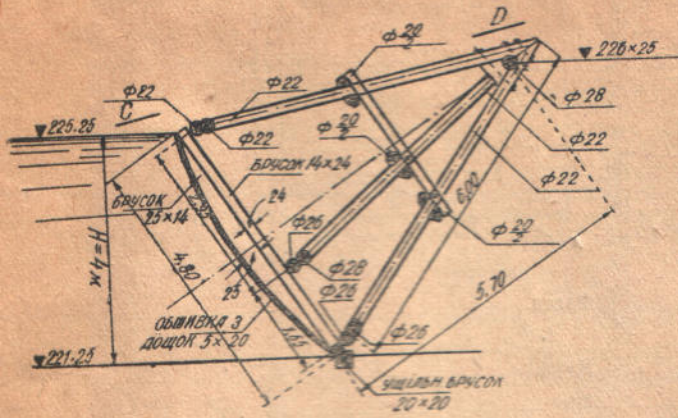




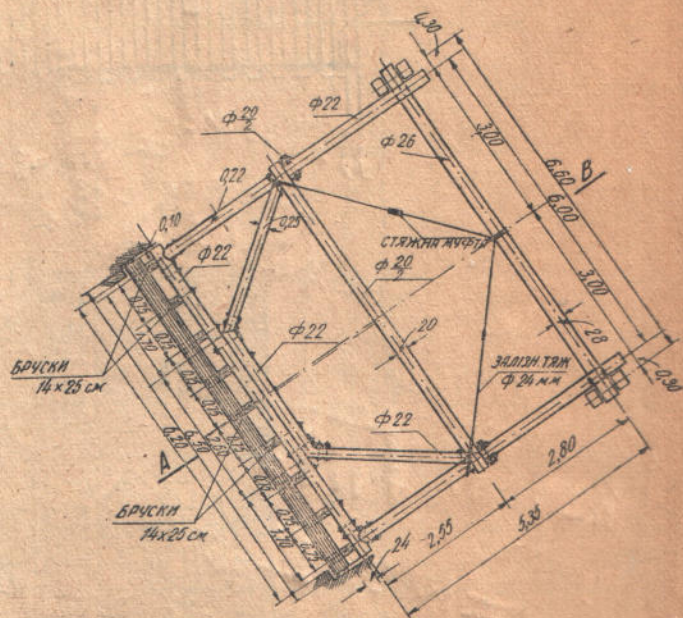




Сегментний затвір з циліндричною обшивкою



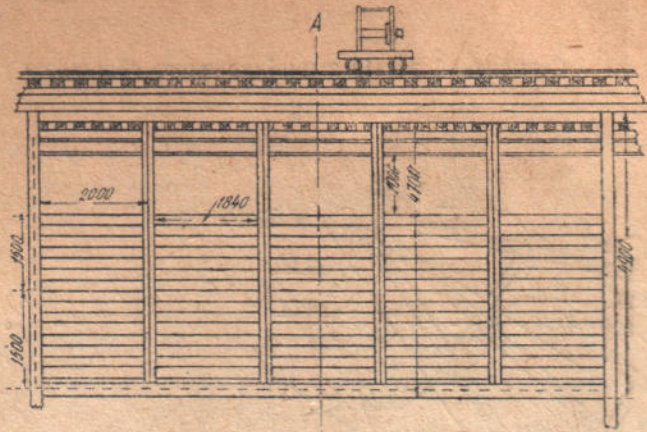
Розріз по АВ.



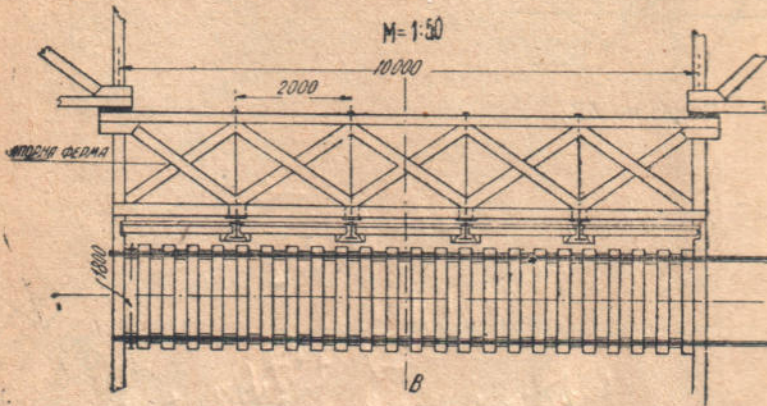
План по CD.



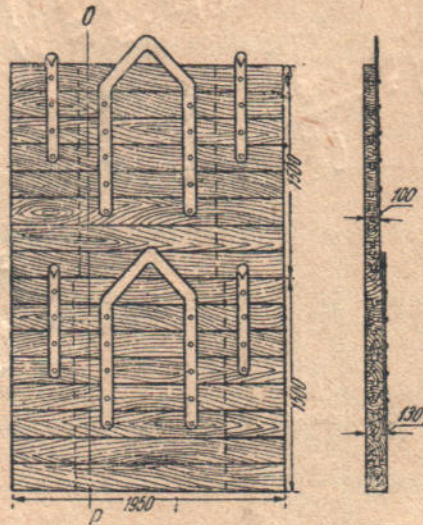
Щитки Буле при відкидних



Фасад.



План.

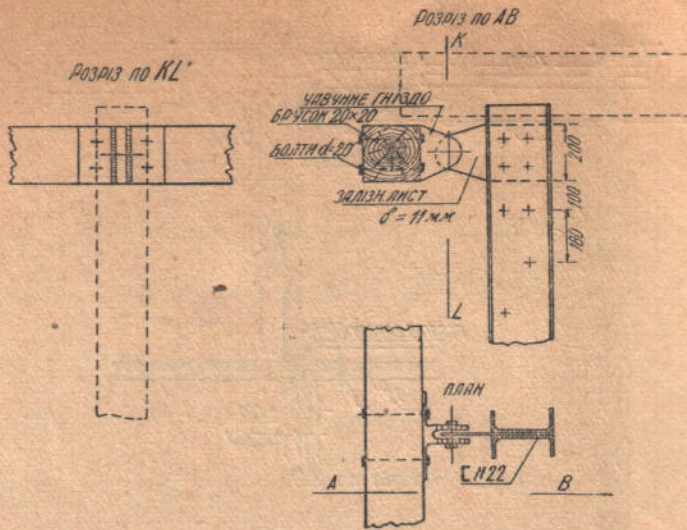


Деталі щитків.

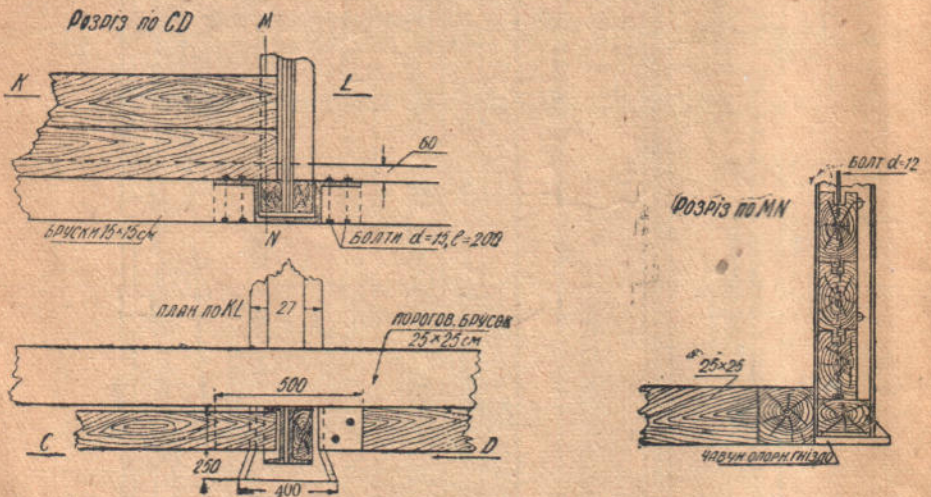








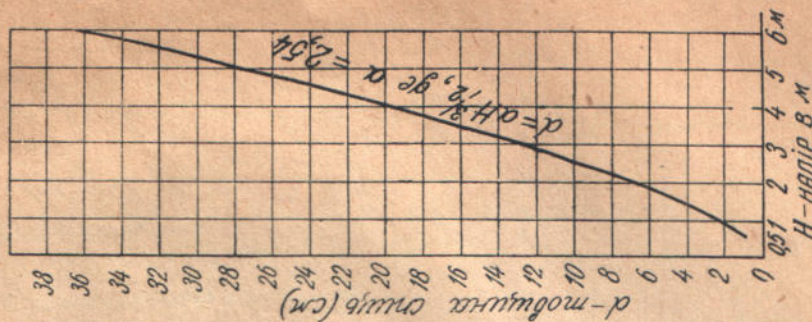
Деталь верхнього опорного вузла.



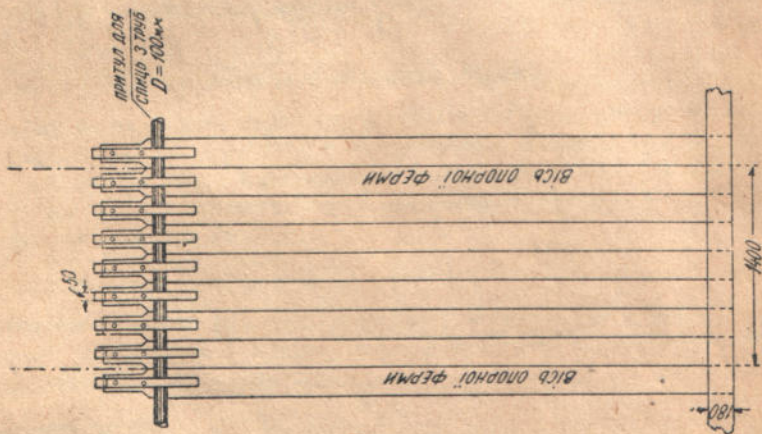
Деталь нижнього опорного вузла.



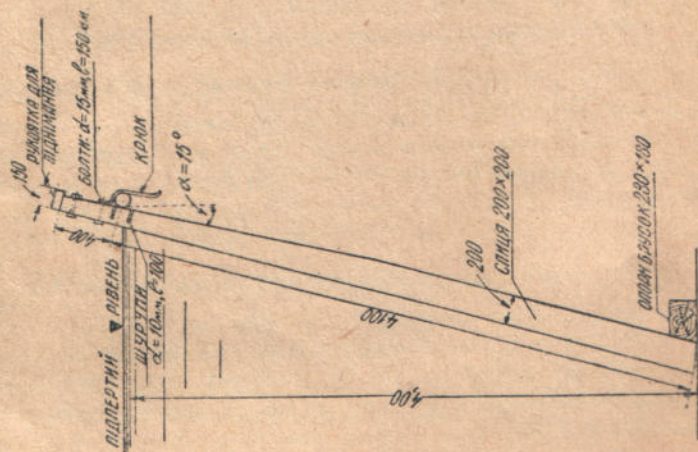
Слицевий затвір:  $H = 4$  м,  $l = 1,4$  м



Графік залежності товщини спиць від напору.



Вигляд з нижнього б'єфу.



Боковий вигляд.







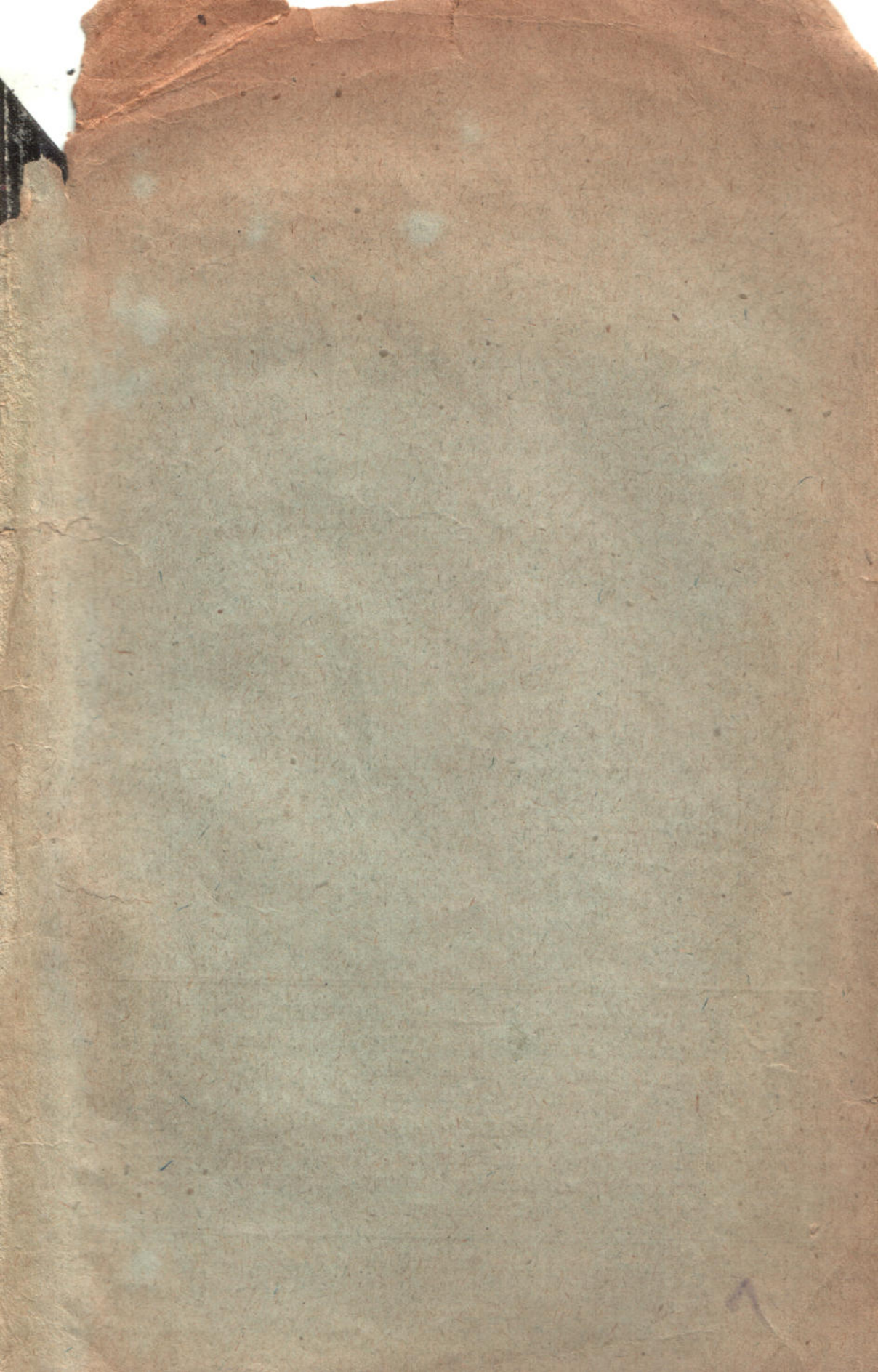
## З М І С Т

Передмова . . . . .	1
Від автора . . . . .	4
<b>Розділ I. Розрахункові норми . . . . .</b>	<b>7—8</b>
§ 1. Розрахункові напруги для дерева (7). § 2. Розрахункові напруги для металічних частин (7). § 3. Прийняті коефіцієнти тертя (8).	
<b>Розділ II. Затвори брусчатої конструкції . . . . .</b>	<b>8—16</b>
§ 1. Пояснення типу брусчатого затвора (8). § 2. Визначення найбільших прогонів. (9) § 3. Приклад затвора брусчатої конструкції (10). § 4. Розрахунок опорних роликів (11). § 5. Визначення підйимального зусилля (12). § 6. Розрахунок підйимальних болтів (13). § 7. Перевірка опускання затвора (13). § 8. Специфікація матеріалів (14).	
<b>Розділ III. Плоский затвір на ригелях з подвійних брусків . . . . .</b>	<b>16—23</b>
§ 1. Пояснення типу плоскоригельного затвора (16). § 2. Розрахунок ригелів (16). § 3. Перевірка дощок на згин (18). § 4. Розрахунок опорних стояків (18). § 5. Розрахунок роликів (20). § 6. Визначення підйимального зусилля (20). § 7. Розрахунок тяжів для підймання затвора (20). § 8. Перевірка на опускання затвора (21). § 9. Специфікація матеріалів (21).	
<b>Розділ IV. Плоский затвір на шпренгельних ригелях . . . . .</b>	<b>23—28</b>
§ 1. Пояснення типу затвора (23). § 2. Розрахунок шпренгельного ригеля (23) § 3. Визначення підйимального зусилля (26). § 4. Перевірка опускання затвора (26). § 5. Специфікація матеріалів (27).	
<b>Розділ V. Арочний затвір . . . . .</b>	<b>28—37</b>
§ 1. Пояснення типу арочного затвора (28). § 2. Метод розрахунку арочного затвора (28). § 3. Розрахункові дані (29). § 4. Розрахунок затяжки (30). § 5. Розрахунок дощаної обшивки (31). § 6. Розрахунок опорних стояків (33). § 7. Розрахунок опорних роликів (35). § 8. Визначення підйимального зусилля (35). § 9. Перевірка посадки затвора (36). § 10. Специфікація матеріалів (36).	
<b>Розділ VI. Секторний затвір з плоскою дощаною обшивкою . . . . .</b>	<b>38—48</b>
§ 1. Переваги секторних затворів (38). § 2. Приклад секторного затвора (38). § 3. Перевірка на стійкість затвора (39). § 4. Визначення підйимального зусилля (41). § 5. Перевірка опускання затвора (42). § 6. Розрахунок обшивки (42). § 7. Розрахунок стояків (43). § 8. Розрахунок ригельних ферм (44). § 9. Розрахунок вала до затвора (46). § 10. Специфікація матеріалів (46).	
<b>Розділ VII. Сегментний затвір з циліндричною дощаною обшивкою . . . . .</b>	<b>48—55</b>
§ 1. Основні дані до розрахунку (48). § 2. Визначення зовнішніх сил, що діють на затвір (49). § 3. Перевірка на стійкість затвора (49). § 4. Визначення підйимального зусилля (50). § 5. Перевірка опускання затвора на флутбет (52). § 6. Перевірка напруг у дошках обшивки (52). § 7. Перевірка напруг у стояках (53). § 8. Розрахунок ригельних ферм і вала (53). § 9. Специфікація матеріалів (54).	



<b>Розділ VIII. Щитки Буле при відкидних стояках . . . . .</b>	<b>55—62</b>
§ 1. Пояснення типу затвора (55). § 2. Розрахунок стояків (56). § 3. Розрахунок щитків (59). § 4. Визначення підйимального зусилля (60). § 5. Перевірка на опускання щитків (61). § 6. Специфікація матеріалів (61).	
<b>Розділ IX. Спицеві затвори . . . . .</b>	<b>62—67</b>
§ 1. Принцип розрахунку (62). § 2. Визначення товщини спиць (63). § 3. Спроби зменшити розміри та вагу спиць (64). § 4. Приклад спицевого затвора (65). § 5. Перевірка напруг (66). § 6. Визначення підйимального зусилля (67). § 7. Специфікація матеріалів (67).	
<b>Розділ X. Орієнтовна вартість матеріалів дерев'яних затворів . . . . .</b>	<b>68—69</b>
§ 1. Принцип визначення вартості (68). § 2. Ціни на матеріали та їх доставку (68). § 3. Аналіз показчиків для порівнення (69).	
<b>Розділ XI. Порівнення дерев'яних затворів з металічними . . . . .</b>	<b>69—76</b>
§ 1. Показчики для порівнення (69). § 2. Визначення даних (71). § 3. Порівнення затворів при $H=3 м$ і $l=5 м$ (71). § 4. Порівнення затворів при $H=3 м$ і $l=6 м$ (72). § 5. Порівнення затворів при $H=4 м$ і $l=6 м$ (73). § 6. Порівнення щитків Буле при відкидних стояках (75). § 7. Порівнення запроєктованого типу спицевого затвора з металічним (75). § 8. Аналіз показчиків для порівнення (76).	
<b>Розділ XII. Висновки . . . . .</b>	<b>76</b>
Література . . . . .	80
Резюме . . . . .	81
Zusammenfassung . . . . .	82
Додатки . . . . .	83







---

**ПРИЙМАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ ТА ПЕРЕДПЛАТИ**

на всі видання Академії Наук УРСР провадиться в секторі  
поширення Видавництва Академії Наук УРСР

Київ, вул. Чудновського, 2

**ПРОДАЖ ВИДАНЬ**

у науковій книгарні Академії Наук УРСР — Київ, вул. Леніна, 12

і по всіх книгарнях Книгокультторгу, Книгоцентру СГІЗ-а  
та Книгозбуту ОНТИ

---

Друкарня-літографія Академії Наук УРСР у Києві