

621 182  
100-90



507g





Н. Д. Тяпкинъ.

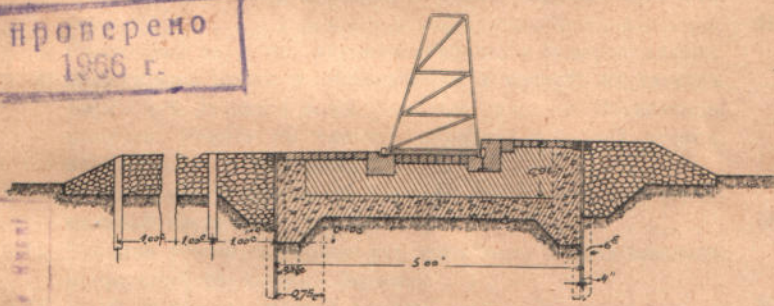
627.82  
799  
КОММУНАЛЬНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
Московского Института  
ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
627  
799  
3/44

# ВОДОПОДЪЕМНАЯ РАЗБОРЧАТЫЯ ПЛОТИНЫ НА РѢКАХЪ.

627.82  
~~627.82~~  
9-99

ПРИМѢРЪ РАЗСЧЕТА  
ФЕРМЪ СИСТЕМЫ *Лоаре*  
для р. Сѣв. Донца  
(къ проекту шлюзованія).

проверено  
1966 г.



Съ 5-ю таблицами чертежей и исчисленіемъ вѣса.

2-е ИЗДАНИЕ.

МОСКВА.

Типо-литографія В. Рихтеръ, Тверская, Мамоновскій пер., соб. домъ.  
1909.

4.302  
5079 9/2

И

Печатано по распоряженію Императорскаго Московскаго Инженернаго  
Училища вѣдомства путей сообщенія.

Директоръ Н. Д. Таткинъ.

## ОГЛАВЛЕНІЕ.

### А. Выборъ системы фермъ и затворовъ для отверстій плотинъ.

	<i>Стран.</i>
§ 1. Затворы. . . . .	1—2
§ 2. Ширина фермы по верху . . . . .	—2
§ 3. Ширина фермы въ основаніи. . . . .	2—3
§ 4. Величина и число панелей. . . . .	3—4
§ 5. Углы наклона передней и задней стоекъ къ вертикали. Вліяніе измѣненія величины угловъ наклона на усилія въ частяхъ фермы. . . . .	4—10
§ 6. Направленіе раскосовъ . . . . .	10—11

### В. Расчетъ частей фермы системы Поаре.

§ 7. Данныя для проектированія и геометрическіе элементы фермы . . . . .	11—12
§ 8. Расчетная нагрузка: а) горизонтальная и б) вертикальная. . . . .	—12
§ 9. Опредѣленіе усилій и изгибающихъ моментовъ въ частяхъ фермы отъ давленія воды. Узловыя давленія. Изгибающіе моменты. Усилія въ частяхъ передней и задней стоекъ, въ раскосахъ и распоркахъ. . . . .	13—16
§ 10. Опредѣленіе усилій въ частяхъ фермы отъ дѣйствія вертикальной нагрузки. . . . .	16—18
§ 11. Таблица усилій, изгибающихъ моментовъ и допускаемыхъ напряженій въ частяхъ фермы. . . . .	—19
§ 12. Подборъ сѣченій частей фермы. . . . .	19—27
§ 13. Число заклепокъ и болтовъ. . . . .	27—28
§ 14. Ось вращенія фермы изъ желѣза корытообразнаго и круглаго сѣченій . . . . .	28—33
§ 15. Опорныя части оси вращенія—шипы . . . . .	33—34
§ 16. Опорныя подушки . . . . .	34—37
§ 17. Передній (припорожный) камень. . . . .	37—38
§ 18. Положеніе центра тяжести всей фермы. . . . .	38—39
§ 19. Уголъ наклоненія уложенныхъ на флютбетъ фермъ къ горизонту. . . . .	—39
§ 20. Сопротивленіе фермы изгибу при подниманіи и опусканіи ея. . . . .	39—42
§ 21. Дополнительныя напряженія въ частяхъ фермы при подниманіи ея отъ лежащаго на ней груза. . . . .	—42

§ 22. Возможныя напряженія въ частяхъ фермъ, уложенныхъ на флютбетъ, когда одна изъ фермъ встрѣчаетъ препятствіе своему опусканію. . . . .	43—44
§ 23. Усиліе необходимое для подъема фермъ. . . . .	44—47
§ 24. Напряженіе верхней распорки при подъемѣ и опусканіи фермъ. . . . .	—47
§ 25. Щиты <i>Буле</i> и щитки <i>Якичкаю</i> . . . . .	—48
§ 26. Двуглавъ надъ нишей. . . . .	49—50
§ 27. Исчисленіе вѣса фермы для 6-ти шлюзовъ р. С. Донца. . .	51—53
§ 28. Исчисленіе вѣса малой фермы. . . . .	—54
§ 29. Дополнительный вѣсъ частей для пролетовъ между фермами. .	—55

ОТКАЗЫ

A. Бюджетъ расходовъ на устройство для отсѣвки дровъ

1—2	1. Устройство для отсѣвки дровъ. . . . .
3—4	2. Устройство для отсѣвки дровъ. . . . .
5—6	3. Устройство для отсѣвки дровъ. . . . .
7—8	4. Устройство для отсѣвки дровъ. . . . .
9—10	5. Устройство для отсѣвки дровъ. . . . .
11—12	6. Устройство для отсѣвки дровъ. . . . .

B. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза

13—14	1. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
15—16	2. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
17—18	3. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
19—20	4. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
21—22	5. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
23—24	6. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
25—26	7. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
27—28	8. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
29—30	9. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
31—32	10. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
33—34	11. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
35—36	12. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
37—38	13. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
39—40	14. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
41—42	15. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
43—44	16. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
45—46	17. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
47—48	18. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
49—50	19. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
51—52	20. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
53—54	21. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
55—56	22. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
57—58	23. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
59—60	24. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
61—62	25. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
63—64	26. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
65—66	27. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
67—68	28. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
69—70	29. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
71—72	30. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
73—74	31. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
75—76	32. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
77—78	33. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
79—80	34. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
81—82	35. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
83—84	36. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
85—86	37. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
87—88	38. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
89—90	39. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
91—92	40. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
93—94	41. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
95—96	42. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
97—98	43. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .
99—100	44. Расчетъ работъ фермы в системѣ шлюза. . . . .



## ПРЕДИСЛОВІЕ.

Этотъ примѣръ расчета фермъ системы *Поаре* для р. Сѣв. Донца, выпускаемый вторымъ изданіемъ, служитъ пособіемъ при проектированіи по предмету Водяныхъ Сообщеній въ Императорскомъ Московскомъ Инженерномъ Училищѣ и представляетъ продолженіе труда съ общимъ заглавіемъ: „Водоподъемныя разборчатыя плотины на рѣкахъ. Плотины съ фермами системы *Поаре* на рѣкахъ Россіи. Расчетъ фермъ системы *Поаре*“, задержаннаго на короткое время выпускомъ вслѣдствіе неготовности клише.

Въ предлагаемое 2-е изданіе введены поправки замѣченныхъ опечатокъ, внесены для ясности нѣкоторыя измѣненія и дополненія, исправлены и дополнены чертежи.

*Н. Д. Тяпкинъ.*

15 Августа 1909 г.  
Москва.



# Разсчетъ фермъ системы *Поаре (Poirée)*.

(Къ проекту шлюзованія р. Сѣв. Донца \*).

## А. Выборъ системы фермъ и затворовъ для отверстій плотинъ.

§ 1. Затворы. Всѣ семь подпорныхъ плотинъ на р. Сѣверн. Донцѣ предположено сдѣлать разборчатыми изъ желѣзныхъ фермъ системы *Поаре* со щитовыми затворами.

Спицевое загражденіе въ данномъ случаѣ совсѣмъ не применимо, потому что:

а) вслѣдствіе весьма малаго расхода воды въ рѣкѣ Сѣвер. Донцѣ (1,50—1,65 кв. сж. въ сек.) невозможно было бы достигнуть назначенныхъ подпоровъ въ 1,24 саж. и 1,35 саж., — слишкомъ велика была-бы фильтрація воды черезъ неплотности затворовъ;

и б) вѣсь спиць былъ-бы настолько великъ, что ручное управленіе ими оказалось бы затруднительнымъ. Такъ, предположенные въ проектѣ № 1 спицы, при высотѣ фермъ надъ порогомъ  $h_1 = 3,78$  м. (вся высота фермы была принята  $h = 4,12$  м.), опредѣлились длиною 4,41 м., сѣченіемъ  $0,10 \times 0,125$  (м.)<sup>2</sup> и вѣсомъ около 2 пуд. Теперь же  $h_1 = 4,28$  м. и  $h = 4,81$  м., т. е. всѣ размѣры и вѣсь спиць должны бы были быть еще болѣе, а слѣдовательно маневры съ ними вручную немислимы.

---

\*) Составлено мною для проекта № 2 (1901—1902 г.г.), разсматривавшагося Техническимъ Комитетомъ Управленія Вод. Сообщ. и Шос. Дор. въ Юль 1902 г. и 5 Сентября 1903 г. и утвержденнаго Инженернымъ Совѣтомъ М-ва П. С. 30 Юля 1903 г. Н. Д. Т.

См. *Н. Д. Тяпкинь*. Разсчетъ фермъ системы *Поаре*. Тифлисъ 1903 г.; Журналъ „Инженерное Дѣло“.—1903 г., № 2.

Кромѣ только что указаннаго, на сторонѣ щитовъ еще слѣдующія преимущества:

а) удобное регулированіе горизонта воды верхними щитами;

б) возможность наблюденія надъ измѣненіемъ расхода воды, измѣряя лишь толщину переливающегося поверхъ щитовъ слоя воды, что очень важно для правильнаго маневрированія плотинами;

и в) механическія приспособленія для маневровъ съ горизонтальными затворами примѣняются гораздо рациональнѣе, чѣмъ къ отдѣльнымъ спицамъ.

Въ настоящемъ проектѣ предположено примѣненіе частью щитовъ инженера *Буле* (изъ 4-хъ досокъ по высотѣ щита шириною каждая 0,20 м.) и частью щитковъ инженера *Яницкаго* (изъ одной доски шириною 0,25 м.) по образцу имѣющихся на р. Москвѣ. Для первыхъ необходимъ легкій передвижной по рельсамъ подъемный кранъ, щитки же легко и быстро могутъ быть вынимаемы и закладываемы рабочимъ помощью особо устроеннаго багра.

§ 2. Ширина фермы по верху  $a_1$  выбирается въ зависимости отъ назначенія и предполагаемаго устройства служебнаго мостика. Въ данномъ случаѣ затворы предположены щитовые, которые могутъ быть переносимы на рукахъ (щитки *Яницкаго*), или перевозимы на тележкѣ (щиты *Буле*) по особо уложеннымъ рельсамъ; подъемъ и закладываніе щитовъ въ послѣднемъ случаѣ можетъ производиться помощью небольшого катучаго крана. Примѣромъ примѣненія щитковъ служатъ фермы плотинъ на р. Москвѣ, ширина коихъ поверху, равная 0,60 саж., оказалась вполне достаточною и удобною для маневровъ. Фермы плотины de Port-à-l'Anglais на р. Сенъ, при щитахъ *Буле*, съ уложенною парюю легкихъ рельсъ, имѣютъ ширину поверху = 1,20 м. Поэтому въ настоящемъ проектѣ принята ширина поверху  $a_1 = 0,60$  саж. = 1,28 м.

§ 3. Ширина фермы въ основаніи  $a_0$  выбирается въ зависимости отъ полной высоты ея  $H$ . Усилія, стремящіяся сорвать и опрокинуть ферму (дѣйствующія на нижніе узлы фермы, а слѣдовательно на шипы и подшипники), тѣмъ больше, чѣмъ больше подпоръ воды, высота фермы и отношеніе  $\frac{H}{a_0}$ .

Фермы небольшой высоты имѣютъ отношеніе

$$\frac{H}{a_0} = \text{около } 1,66, \dots \text{ или } \frac{a_0}{H} = 0,60.$$

Съ увеличеніемъ же высоты это отношеніе уменьшется до:

$$\frac{H}{a_0} = 1,25, \dots \text{ или } \frac{a_0}{H} = 0,83.$$

Такъ, мы имѣемъ слѣдующіе примѣры:

на р. Шекснѣ . . .  $H : a_0 = 1,50$  и  $1,70$ , или  $a_0 : H = 0,667$  и  $0,587$

на р. Москвѣ . . . . .  $\frac{3,80}{2,20} = 1,73$ , . . . . .  $\frac{2,20}{3,80} = 0,58$

на р. Огѣ . . . . .  $\frac{5,79}{3,90} = 1,48$ , . . . . .  $\frac{3,90}{5,79} = 0,673$

на р. Сенъ у Suresnes:

„ судох. проходъ . .  $\frac{5,91}{3,79} = 1,56$ , . . . . .  $\frac{3,79}{5,91} = 0,64$

„ повыш. флютб. . .  $\frac{5,40}{3,59} = 1,50$ , . . . . .  $\frac{3,59}{5,40} = 0,665$

„ водосливъ . . . .  $\frac{4,14}{2,90} = 1,43$ , . . . . .  $\frac{2,90}{4,14} = 0,70$

„ у Martot . . . . .  $\frac{3,35}{2,48} = 1,35$ , . . . . .  $\frac{2,48}{3,35} = 0,74$

„ de Port Villez . .  $\frac{5,42}{4,50} = 1,20$ , . . . . .  $\frac{4,50}{5,42} = 0,83$

„ de Port-à-

l'Anglais  $H : a_0 = \frac{4,80}{3,00} = 1,60$ , . .  $a_0 : H = \frac{3,00}{4,80} = 0,625$

На основаніи указанныхъ выше соотношеній, и по примѣру ряда существующихъ сооружений, въ настоящемъ проектѣ принята ширина фермы въ основаніи *около двухъ третей высоты*, а именно  $a_0 = 1,50$  сж. = 3,20 м., такъ что:

$$\frac{H}{a_0} = \frac{2,26 \text{ сж.}}{1,50 \text{ сж.}} = \frac{4,81 \text{ м.}}{3,20 \text{ м.}} = 1,50, \text{ или } \frac{a_0}{H} = 0,665.$$

§ 4. Величина и число панелей зависятъ прежде всего отъ высоты фермы, давленія воды на переднюю стойку и расположенія нижней и верхней граней призмы давленія. Выборъ можетъ быть сдѣланъ на основаніи наивыгоднѣйшей работы частей передней стойки, какъ непосредственно подвергающейся наибольшимъ усиліямъ отъ давленія воды. При этомъ желательно конечно имѣть въ виду сохраненіе по возможности одинаковаго сѣченія по всей высотѣ стойки, не придавая бесполезно слишкомъ большого запаса не работающей площади сѣченія и не измѣняя значительно сѣченіе въ мѣстахъ перехода. При выполненіи этихъ условій величина панелей не можетъ быть одинакова, а должна

несомнѣнно измѣняться, увеличиваясь кверху сообразно съ уменьшеніемъ давленія воды \*). Вмѣстѣ съ тѣмъ также не должны быть оставлены безъ вниманія какъ наивыгоднѣйшая работа раскосовъ и горизонтальныхъ связей, такъ и измѣненіе ихъ длины, могущихъ увеличить бесполезно общій вѣсъ фермы.

Рѣшить этотъ вопросъ возможно рядомъ сравнительныхъ подсчетовъ и конечно графическій способъ опредѣленія усилий (*Кремоны*) \*\*) въ данномъ случаѣ является незамѣнимымъ.

Въ настоящемъ проектѣ на основаніи такихъ подсчетовъ оказалось возможнымъ раздѣлить ферму по высотѣ на три панели. При большемъ числѣ панелей пришлось бы изъ-за конструктивныхъ соображеній придать слишкомъ большой запасъ въ сѣченіяхъ, какъ это было выяснено при предварительныхъ подсчетахъ и составленіи эскизнаго проекта.

Средняя (2-я) и нижняя (3-я) панели спроектированы такъ, чтобы изгибающіе моменты въ этихъ частяхъ передней стойки мало отличались другъ отъ друга; для подобнаго соотношенія верхняя (1-я) панель должна быть очень длинной, почему взята съ нѣсколько меньшимъ изгибающимъ моментомъ. Величины панелей опредѣлились такъ:

3-я . . . 1,36 м.; 2-я . . . 1,44 м.; 1-я . . . 2,01 метр.

§ 5. Углы наклона передней и задней стоекъ къ вертикали. Инженеръ *Буле* \*\*\*)) при проектированіи фермъ плотины Port-Villez, въ предположеніи закрытія отверстій его щитами, рѣшилъ сдѣлать нѣкоторое отклоненіе (первоначально одинаковое) обѣихъ стоекъ фермы отъ вертикали. Задняя (низовая) стойка сама по себѣ получаетъ нѣкоторый уклонъ вслѣдствіе разности ширины фермы въ основаніи ея и поверху. Отклоненіе-же передней (верховой) стойки отъ вертикали влечетъ за собою уменьшеніе напряженій въ частяхъ фермы, что слѣдуетъ изъ сравненія работы элементовъ двухъ фермъ — съ вертикальной и наклонной передними стойками при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ.

Пусть (Табл. I, Фиг. 1) уголъ отклоненія этой стойки будетъ  $\alpha_1$ , а уголъ между раскосомъ и нижнимъ направленіемъ вертикали будетъ для первой  $\beta_1$  и для второй  $\beta'_1$ . Разсмотримъ для примѣра второй сверху узелъ.

\*) Въ существующихъ сооруженіяхъ мы встрѣчаемся преимущественно съ раздѣленіемъ фермы на панели одинаковой величины, что повидимому дѣлалось для упрощенія и облегченія вычисленій.

\*\*) См. *Л. Д. Прокураковъ*. Строительная механика. Москва 1901 г.

\*\*\*)) *Boulié*. Memoire sur un nouveau système de barrage mobile fermé par des vannes et des fermettes. (Paris Port de mer). 1879—1880.

Наименованіе усилій.	Ферма съ вертикальн. стойкой.	Ферма съ наклонной передней стойкой.
1. Узловая нагрузка . . . . .	$P_1$	$P'_1 = \frac{P_1}{\cos \alpha_1}$
2. Растяженіе стойки средней панели . . . . .	$V_2 = \frac{P_1}{\operatorname{tg} \beta_2}$	$V'_2 = \frac{P'_1}{\operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta'_2)} = \frac{P_1}{\cos \alpha_1 \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta'_2)}$
3. Сжатіе раскоса средней панели . . . . .	$D_2 = \frac{P_1}{\operatorname{Sn} \beta_2}$	$D'_2 = \frac{P'_1}{\operatorname{Sn}(\alpha_1 + \beta'_2)} = \frac{P_1}{\cos \alpha_1 \operatorname{Sn}(\alpha_1 + \beta'_2)}$

Какъ видно изъ приведенныхъ выраженій усилій  $V_2$  и  $D_2$ , минимумъ которыхъ будетъ при  $\alpha_1 > 0$ , напряжения во второмъ случаѣ будутъ уменьшаться съ увеличеніемъ угла  $\alpha_1$ ; въ соответственномъ отношеніи измѣнятся площади сѣченій частей, а слѣдовательно и вѣсъ фермы. Но это уменьшеніе не безпредѣльно; при возрастаніи  $\angle \alpha_1$  увеличивается длина нѣкоторыхъ элементовъ фермы и при какомъ либо опредѣленномъ значеніи  $\angle \alpha_1$  можетъ наступить такой моментъ, когда вся выгода отъ уменьшенія сѣченій поглотится увеличеніемъ длины частей и вмѣсто уменьшенія получится увеличеніе вѣса фермы.

Желательно было бы знать наивыгоднѣйшую величину угла отклоненія этой стойки отъ вертикали. Точное теоретическое рѣшеніе вопроса могло бы быть примѣнено лишь для одной изъ стоекъ. Для этого слѣдовало бы выразить вѣсъ части стойки фермы въ функціи угла отклоненія ея отъ вертикали и найти минимумъ этой функціи; тогда величина  $\angle \alpha$ , удовлетворяющая условіямъ минимум'а, и была бы искомымъ рѣшеніемъ.

Подобное вычисленіе было сдѣлано при проектированіи фермъ для улучшенія Дифпровско-Бугской системы \*); схема спроектированной согласно этому подсчету фермы представлена на Фиг. 2, Табл. I; разстояніе между фермами было принято = 0,50 с. = 1,07 м. Получилось уравненіе 10-й степени съ одною неизвѣстною; рѣшеніе такого уравненія требуетъ утомительныхъ приѣмовъ вычисленій, почему для указаннаго случая было сдѣлано частное отысканіе корня путемъ послѣдовательныхъ сближеній его предѣловъ; для угла отклоненія  $\alpha$  было найдено значеніе =  $5^\circ 18'$ . При этомъ вычисленіи разсматривалось только давленіе отъ воды съ верховой стороны, считая отъ оси вращенія, а не отъ порога; затѣмъ тотъ-же уголъ принять и для задней стойки, какъ наивыгоднѣйшій \*\*). Запасъ въ сѣченіи всѣхъ частей получился громадный вслѣдствіе раздѣленія фермы по высотѣ на 4 равныя панели, такъ что одна распорка является совершенно лишней

\*) Шелюта. Расчетъ къ проекту разборчатой плотины. „Инженеръ“ Ж. М-ва П. С. 1882, Т. III, кн. 13, стр. 452—488.

\*\*) О наклонѣ задней стойки см. ниже стр. 9 и 10.

при тѣхъ же сѣченіяхъ \*); длина нѣкоторыхъ частей, казалось бы, также могла бы быть уменьшена.

Система фермы съ вертикальной передней стойкой облегчаетъ устройство сопряженія плотины съ тѣмъ береговымъ устоемъ, въ которомъ сдѣлано углубленіе (ниша) для укладыванія фермъ. Ферма же съ наклонной передней стойкой, по сравненію съ прямой фермой при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, болѣе устойчива, даетъ возможность уменьшить усилія и длину нѣкоторыхъ частей, чѣмъ конечно сократить вѣсъ, а слѣдовательно и общую стоимость плотинъ. Кромѣ того, наклонная передняя стойка болѣе удобна для закладыванія щитовъ и для укладки фермъ на флютбетъ, нежели вертикальная; давленіе воды при наклонной стойкѣ даетъ слагающую, придавливающую щиты и тѣмъ препятствующую ихъ всплыванію.

Поэтому фермы со щитовыми затворами никогда не слѣдуетъ дѣлать съ вертикальной передней стойкой; для удобства же укладки фермъ на флютбетъ онѣ и при спицевыхъ затворахъ, или при шавдорныхъ стойкахъ, должны имѣть наклонныя, съ небольшимъ угломъ къ вертикали ( $1^{\circ}$ — $2^{\circ}$ ), переднія стойки.

Имѣющіеся примѣры для фермъ со щитовыми затворами:

М ѣ с т а р а с п о л о ж е н і я .	Передняя стойка.	Задняя стойка.
Днѣпровско-Бугская система **). . . . .	$\alpha_1 = 5^{\circ} 18'$	$\alpha_2 = 5^{\circ} 18'$
р. Ока **). . . . .	$11^{\circ} 42'$	$11^{\circ} 42'$
р. Сена у Suresnes, судов. проходъ . . . . .	$15^{\circ} 30'$	$8^{\circ}$
„ „ повыш. флютб. . . . .	$16^{\circ}$	$8^{\circ}$
„ „ водосливъ. . . . .	$14^{\circ}$	$7^{\circ}$
р. Сена у Port-Villez . . . . .	$9^{\circ}$	$18^{\circ}$

Такія разнообразныя данныя для значевій угловъ, составляемыхъ стойками съ вертикалью, не позволяютъ остановиться произвольно на какой либо изъ этихъ величинъ, а надо найти наивыгоднѣйшія значенія для настоящаго случая.

При данныхъ: высотъ фермы, ея ширины поверху и въ основаніи, углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  стоекъ съ вертикалью можно измѣнять въ нѣкоторыхъ опредѣленныхъ предѣлахъ, а именно отъ нуля до значенія, при которомъ другая стойка будетъ вертикальна.

Такимъ образомъ (Фиг. 4 и 5, Табл. I), имѣемъ слѣдующіе предѣлы значеній  $\angle \alpha$ , взаимно связанные для обѣихъ стоекъ:

для  $\angle \alpha_1$  . . . . . нуль и  $20^{\circ} 46'$   
 для  $\angle \alpha_2$  . . . . .  $21^{\circ} 46'$  и нуль

\*) См. выше § 4.

\*\*) Проекты.



Для окончательнаго выбора  $\angle \alpha_1$  и  $\alpha_2$  самое лучше при-  
бѣгнуть къ графическому рѣшенію вопроса, опредѣляя усилія  
по способу *Кремона* для различныхъ промежуточныхъ (между  
 $\alpha_1 = 0$  и  $\alpha_1 = 21^\circ 46'$ ) положеній передней стойки.

Изъ цѣлаго ряда такихъ построеній оказалось въ данномъ  
случаѣ наиболѣе выгоднымъ придать этимъ угламъ значенія:  
 $\angle \alpha_1 = 5^\circ$  и соответственно этому  $\angle \alpha_2 = 17^\circ 20'$ .

Въ нижепомѣщаемыхъ двухъ таблицахъ приводимъ нѣко-  
торыя интересныя данныя для слѣдующихъ наиболѣе характер-  
ныхъ случаевъ расположенія (Фиг. 8, Табл. I):

I. Ферма  $CE_0 F_0 D$  съ вертикальной передней стойкой,

$$\angle \alpha_1 = 0, \quad \angle \alpha_2 = 21^\circ 46';$$

II. Ферма  $CE_3 F_3 D$  съ наклонными стойками,

$$\angle \alpha_1 = 5^\circ, \quad \angle \alpha_2 = 17^\circ 19';$$

III. Ферма  $CE_{10} F_{10} D$  съ наклонными стойками,

$$\angle \alpha_1 = 10^\circ, \quad \angle \alpha_2 = 12^\circ 37';$$

IV. Ферма  $CE_n F_n D$  съ вертикальной задней стойкой,

$$\angle \alpha_1 = 21^\circ 46', \quad \angle \alpha_2 = 0;$$

V. Ферма  $CE_3 F_3 H_0 D$  съ наклонными стойками, съ перело-  
момъ задней стойки въ  $H_0$ ,

$$\angle \alpha_1 = 5^\circ, \quad \angle \alpha_2 = 21^\circ 46', \quad \angle \alpha'_2 = 11^\circ 15'.$$

## Т а б л и ц а А.

(Размѣры элементовъ, усилія и изгибающіе моменты).

Ферма- элементъ.	№ I.			№ II.			№ II'.			№ III.		
	Длина элемента метр.	Усиліе килогр.	Моментъ китр. см.	Длина элемента метр.	Усиліе килогр.	Моментъ китр. см.	Длина элемента метр.	Усиліе килогр.	Моментъ китр. см.	Длина элемента метр.	Усиліе килогр.	Моментъ китр. см.
$V_1$	2,01 + 258	27392	—	2,02 + 237	27820	—	2,02 + 272	—	—	2,04 + 225	28248	—
$V_2$	1,44 + 1597	60348	—	1,45 + 1410	60776	—	1,45 + 1490	—	—	1,46 + 1205	61739	—
$V_3$	1,36 + 4062	60455	—	1,37 + 3552	61311	—	1,37 + 3552	—	—	1,38 + 3072	61525	—
$S_1$	2,15	0	—	2,10	0	—	2,05	0	—	2,06	0	—
$S_2$	1,55 — 275	—	—	1,51 — 272	—	—	1,55 — 315	—	—	1,48 — 270	—	—
$S_3$	1,47 — 1715	—	—	1,42 — 1702	—	—	1,45 — 1832	—	—	1,39 — 1682	—	—
$D_1$	2,90 — 372	—	—	2,77 — 357	—	—	2,61 — 385	—	—	2,66 — 345	—	—
$D_2$	3,02 — 2822	—	—	2,90 — 2755	—	—	2,81 — 2738	—	—	2,80 — 2690	—	—
$D_3$	3,48 — 6805	—	—	3,37 — 6158	—	—	3,40 — 5972	—	—	3,25 — 6072	—	—
$T_0$	1,28	0	—	1,28	0	—	1,28	0	—	1,28	0	—
$T_1$	2,09 + 165	—	—	2,09 + 165	—	—	1,84 + 125	—	—	2,09 + 165	—	—
$T_2$	2,66 + 1958	—	—	2,66 + 1965	—	—	2,54 + 1785	—	—	2,66 + 2010	—	—
$T_3$	3,20 — 930	—	—	3,20 — 1255	—	—	3,20 — 1255	—	—	3,20 — 1468	—	—

При составленіи данныхъ таблицы А вертикальная нагрузка и собственный вѣсъ частей фермы не приняты во вниманіе; рассматривается только давленіе воды, направленное нормально къ передней стойкѣ.

## Т а б л и ц а В.

(Узловыя нагрузки и реакціи опоръ).

Родъ нагрузки.	Узлы.	Ф Е Р М Ы.				
		№ I	№ II	№ II'	№ III	№ IV.
Давленіе воды къ направленію стойки.	<i>E</i>	$p_0 = 265$	267	267	268	288
	<i>G</i>	$p_1 = 2322$	2339	2339	2356	2501
	<i>K</i>	$p_2 = 3847$	3875	3875	3898	4131
	<i>C</i>	$p_3 = 930$	942	942	942	998
	$P = \Sigma p$		7364	7423	7423	7464
Р е а к ц і я А.		4062	3452	3452	2852	2028
Р е а к ц і я В.		8410	8465	8465	8472	9106
Вертикаль-ная.	<i>E</i>	460	460	460	460	460
	<i>F</i>	460	460	460	460	460
Р е а к ц і я А.		736	616	616	492	184
Р е а к ц і я В.		184	304	304	428	736

При разсмотрѣніи таблицы А слѣдуетъ имѣть въ виду, что уменьшеніе усилій *V* въ частяхъ передней стойки съ измѣненіемъ угла  $\alpha_1$ , не такъ важно, какъ таковое же въ другихъ элементахъ фермы. Объясненіемъ этому служитъ то, что напряженіе отъ изгиба въ частяхъ *V* составляетъ около 90% общаго напряженія и, слѣдовательно, напряженіе отъ усилія лишь всего 10%.

Изъ обѣихъ таблицъ видно, что увеличеніе  $\angle \alpha_1$  и соотвѣтственное уменьшеніе  $\angle \alpha_2$  вліяють слѣдующимъ образомъ на размѣры усилій и самихъ элементовъ:

- 1) длина частей передней стойки увеличивается;
- 2) длина частей задней стойки и раскосовъ уменьшается;
- 3) узловыя нагрузки отъ давленія воды увеличиваются;
- 4) реакціи А верхней опоры уменьшаются;
- 5) реакціи В нижней опоры увеличиваются;
- 6) въ частяхъ передней стойки {
 

{	усилія уменьшаются, изгиб. моменты увеличиваются;
---	---

- 7) въ частяхъ задней стойки и въ раскосахъ . . . . . } усилия уменьшаются;  
 8) въ горизонт. связяхъ усилия увеличиваются.

При  $\angle \alpha_1 = 10^\circ$  усилия  $T_2$  и  $T_3$  увеличились больше, чѣмъ другія уменьшились, а потому далѣе этого наклоненія стойки къ вертикали идти не слѣдуетъ.

Для окончательнаго выбора типа фермы надо сравнить измѣненія напряженій въ частяхъ  $V$  и  $T$ , такъ какъ для  $S_3$  напряжение уменьшается лишь на 1,50 и 2,30 кил./см.<sup>2</sup>, а для  $D_3$  — на 4 и 6 кил./см.<sup>2</sup>.

Имѣемъ:

Измѣненіе напряженій.	$V_1$			$V_2$			$V_3$			$T_3$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Увеличеніе напряженія отъ изгиб. мом. на $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$ .	0	+7,0	+14	0	+4	+13	0	+7,5	+9,75	—	—	—
Уменьшеніе напряжен. отъ усилія . . на $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$ .	0	-0,5	-0,8	0	-4	-8	0	-10,5	-20,5	—	—	—
Увеличеніе напряженія отъ усилія . . на $\frac{\text{кил.}}{\text{см}^2}$ .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	+38	+63

Изъ сопоставленія всего вышеприведеннаго и изъ предварительнаго подбора сѣченій частей фермы во всѣхъ этихъ случаяхъ по опредѣленнымъ усиліямъ оказывается наиболѣе выгоднымъ (по вѣсу) и правильнымъ (по отношенію работы частей) остановиться на величинѣ  $\angle \alpha_1 = 5^\circ$ .

Что касается наивыгоднѣйшаго къ вертикали наклоненія задней стойки, то изъ Фиг. 8, Табл. I и Табл. A видимъ дѣйствительно, съ уменьшеніемъ  $\angle \alpha_2$  уменьшаются длины частей  $S$  и напряженія въ нихъ, но за то значительно увеличиваются длины частей  $D$ , а также напряженія въ сжатыхъ частяхъ. Такимъ образомъ, незначительная сравнительно экономія лишь въ длинѣ (но не въ конструктивной площади сѣченія) частей задней стойки повлечетъ въ настоящемъ случаѣ значительно большее увеличеніе вѣса удлинившихся элементовъ, ухудшеніе работы и даже увеличеніе сѣченія сжатыхъ частей; т. е. уменьшеніе  $\angle \alpha_2$  не всегда можетъ оказаться выгоднымъ. Увеличеніе же  $\angle \alpha_1$  съ цѣлью придать обѣимъ стойкамъ одинаковое наклоненіе къ вертикали врядъ-ли можетъ быть признано правильнымъ, такъ какъ нагрузка и способъ работы ихъ частей совершенно отличны другъ отъ друга.

Ферма типа № II' по сравненію съ № II даетъ:

- 1) увеличеніе геометрической длины частей  $S$  задней стойки,
- 2) уменьшеніе геометрической длины раскосовъ,
- 3) уменьшеніе геометрической длины горизонт. связей,
- 4) увеличеніе напряженія отъ усилій въ части  $S_3$  на  $15 \text{ кл./см.}^2$
- 5) увеличеніе напряженій отъ усилій въ частяхъ  $D_1, V_1$  и  $V_2$ ,
- 6) уменьшеніе напряженія отъ усилій въ части  $D_3$  на  $8 \text{ кл./см.}^2$
- 7) уменьшеніе напряженія отъ усилій въ части  $T_2$  на  $21 \text{ кл./см.}^2$

Какъ видно изъ конструированія фермы, эти измѣненія напряженій не вызываютъ ни уменьшенія, ни увеличенія принятаго сѣченія частей. Кажущійся выигрышь въ уменьшеніи геометрической длины  $T_1$  (0,24 м.) и  $T_2$  (0,11 м.) влечетъ за собою переломъ (на  $10^\circ 31'$ ) задней стойки въ узлъ  $H_0$ , а также ухудшеніе работы раскоса  $D_1$ , вслѣдствіе болѣе крутого его подъема. Болѣе крутое положеніе раскосовъ  $D_1$  и  $D_2$  и входящій уголъ узла  $H_0$  требуютъ нѣкотораго увеличенія размѣровъ, а слѣдовательно и вѣса двойныхъ накладокъ и прокладокъ въ четырехъ узловыхъ пунктахъ.

*На основаніи всего вышеизложеннаго правильнѣе будетъ остановиться на фермѣ типа № II, къ точному расчету коей ниже и переходимъ.*

§ 6. Направленіе раскосовъ принято въ каждой панели отъ верхняго узла передней стойки внизъ къ нижнему узлу задней стойки, какъ наиболѣе соответствующее щитовымъ затворамъ, располагаемымъ въ нѣсколько рядовъ по высотѣ.

Примѣненіе раскосовъ, работающих лишь на растяженіе, направленныхъ въ каждой панели отъ нижняго узла передней стойки къ верхнему узлу задней стойки (какъ это проектировано въ послѣднее время для р. Молдавы, при высотѣ фермъ 5,78 м. и подпорѣ въ 3,90 метр.), уменьшаетъ общую жесткость фермы и въ настоящемъ случаѣ никакихъ преимуществъ передъ первымъ расположеніемъ не имѣетъ.

Устройство двойныхъ раскосовъ, подобно фермамъ Suresnes-ской плотины на р. Сенъ, въ данномъ проектѣ не вызывается ни слишкомъ большою высотой фермы, ни величиной подпора, ни особымъ назначеніемъ плотинъ, въ силу котораго фермы оставались бы неразобранными во время начала весенняго половодья и подвергались бы ударному дѣйствию льда и плавающихъ тѣлъ \*).

\*) Какъ напр. проектированная система фермъ для Бабье-Городской плотины на р. Москвѣ.

Проведеніе же длинныхъ раскосовъ черезъ двѣ нижнія панели или черезъ всю высоту фермы, въ разсматриваемомъ случаѣ можетъ имѣть только одни нижеслѣдующіе недостатки:

- 1) является длинная сжатая часть;
- 2) усложняется узелъ, въ которомъ встрѣчаются два подкоса;
- 3) горизонтальныя связи не работаютъ, а предназначаются, при томъ же поперечномъ сѣченіи, лишь для уменьшенія свободной длины раскоса;
- 4) являются узлы въ пересѣченіяхъ раскоса съ горизонтальными связями; слѣдствіемъ этихъ пересѣченій получаютъ неизвѣстныя дополнительныя напряжения и бесполезныя конструктивныя осложненія.

## В. Расчетъ частей фермы Поаре.

§ 7. Данныя для проектированія и геометрическіе элементы фермы.

Подпоръ  $\left\{ \begin{array}{l} \text{плотинъ №№ 1—6} = 1,24 \text{ сж.} = 2,65 \text{ метр.} \\ \text{плотины . . . № 7} = 1,35 \text{ сж.} = 2,88 \text{ метр.} \end{array} \right.$

Для расчета принять подпоръ наибольшей; для малой же фермы (высотю 2,12 сж. = 4,51 м.) размѣры сѣченій отдѣльныхъ частей оставлены тѣ-же, что получены расчетомъ для большой фермы.

Возвышеніе верха фермъ надъ горизонтомъ верхняго бѣфа = 0,27 сж. = 0,57 метр.

Вся высота фермы, считая отъ оси вращенія до верха верхней распорки, равна 2,26 сж. = 4,81 метр.

Разстояніе между фермами принято = 0,50 сж. = 1,07 метр.; при большемъ разстояніи толщина щитовъ вышла бы слишкомъ значительной, увеличилась бы площадь самаго щита, а слѣдовательно и давленіе воды на него, т. е. потребовалось бы большее усиліе для его подъема; слѣдствіемъ того же измѣненія давленія воды на щитъ явилось бы увеличеніе узловыхъ нагрузокъ для фермы и потребовалось бы еще большее сѣченіе частей ея.

Ширина фермы по верху = 0,60 сж. = 1,28 метр.

Ширина фермы по низу, основаніе фермы, или длина оси вращенія взята въ 1,50 сж. = 3,20 метр.

Уголъ наклона передней стойки къ вертикали  $\alpha_1 = 5^\circ$ .

Уголъ наклона задней стойки къ вертикали  $\alpha_2 = 17^\circ 19'$ .

Соотвѣтственныя тригонометрическія величины:

$$\sin \alpha_1 = 0,08716; \cos \alpha_1 = 0,99619; \operatorname{tg} \alpha_1 = 0,08749.$$

$$\sin \alpha_2 = 0,29765; \cos \alpha_2 = 0,95536; \operatorname{tg} \alpha_2 = 0,31178.$$

Высота порога надъ осью вращенія = 0,53 метр.

Высота воды в. бѣфа надъ порогомъ = 3,71 метр.

Высота воды н. бѣфа надъ порогомъ = 0,83 метр.

Ферма раздѣлена по высотѣ горизонтальными распорками на три неравныя, увеличивающіяся къ верху, панели, высотой: 1,36 м.; 1,44 м.; 2,01 м.

Длина элементовъ въ метрахъ, а также углы, составляемые ими съ вертикалью, показаны на схемѣ (Фиг. 9, Табл. I).

Въ расчетѣ принято полное давленіе воды съ подпорной стороны, при отсутствіи воды съ низовой стороны.

Въ основу конструкціи принято коробчатое желѣзо, швеллеръ № 8  $\left(\frac{80 \times 45}{6 \times 8}\right)$ , усиливается второй коробкой и листами согласно требуемымъ по расчету моментамъ сопротивленія.

§ 8. Расчетная нагрузка.

а) *Горизонтальная* нагрузка — давленіе воды  $q$  въ данной точкѣ фермы, отнесенное къ единицѣ высоты ея, можетъ быть выражено такъ:

$$q = a \times \delta \times h,$$

гдѣ  $a$  — разстояніе между фермами = 1,07 м.,  $\delta$  — вѣсъ 1 куб. метра воды = 1000 килогр.,  $h$  — глубина погруженія разсматриваемой точки подъ свободной поверхностью воды.

Поэтому:  $q = 1070 \cdot h \frac{\text{килограм.}}{\text{пог. м. высоты фермы.}}$

б) *Вертикальная* нагрузка состоитъ изъ:

- 1) вѣса деревяннаго настила въ 4 доски  $2'' \times 8'' = 4 \cdot 0,05 \cdot 0,20 \cdot 1,07 \cdot 750 = \dots \dots \dots 32$  килогр.
- 2) вѣса двухъ рельсовыхъ полосъ для крана =  $2 \times 1,50$  пуд., или  $\dots \dots \dots 48$  "
- 3) половины вѣса лебедки и крана =  $= \left(\frac{20}{2} + \frac{11}{2}\right)$  пуд. =  $(160 + 88) = \dots \dots \dots 248$  "
- 4) половины вѣса цѣпи =  $\frac{150}{2} = \dots \dots \dots 75$  "
- 5) вѣса одного человекѣка = 5 пуд., или  $\dots \dots \dots 80$  "
- 6) половины наибольшаго тягового усилія при подъемѣ щита высотой 0,80 метр., находящагося въ самомъ нижнемъ положеніи (при коэффициентѣ тренія дерева по желѣзу  $f=0,26$ ), равнаго \*):  $\frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{2,91 + 3,71}{2} \cdot 0,80 \cdot 1070 \times 0,26 \right\} = 367$  "

Итого на каждую ферму  $\dots \dots \dots 850$  килогр.

Это составитъ на каждый изъ верхнихъ узловъ 425 килр.

\*) При глубинѣ воды = 3,71 м., нижняя изъ параллельныхъ сторонъ прямоугольной трапеціи, представляющей поперечное сѣченіе призмы давленія воды, также = 3,71 м., верхняя = 3,71 — 0,80 = 2,91 м., высота трапеціи = высота щита = 0,80 м.

§ 9. Определе́ніе усилій и изгибающихъ моментовъ отъ давленія воды. Передняя стойка, передавая на узлы непосредственно къ ней приложенное давленіе воды, подвергается дѣйствию не только усилій, распредѣляющихся на всю ферму, но еще и мѣстному изгибу. Согласно схемъ (Фиг. 9, Табл. I и Фиг. 10, Табл. II) имѣемъ:

А. Узловыя давленія.

$$p_0 = 1070 \cdot \left[ \left( \frac{1,44 \cdot 1,45}{2} \cdot \frac{1,45}{3} \right) : 2,02 \right] = 0,250 \cdot 1070 = \dots 267 \text{ кл.}$$

$$p_1 = 1070 \cdot \left\{ \left[ \frac{1,44 \cdot 1,45}{2} \cdot \left( \frac{1,45 \cdot 2}{3} + 0,57 \right) \right] : 2,02 + \left( \frac{1,44 \cdot \overline{1,45^2} \cdot 2}{2 \cdot 3} + \frac{2,88 \cdot \overline{1,45^2}}{2 \cdot 3} \right) : 1,45 \right\} = 1070 \cdot (0,794 + 1,392) = \\ = 1070 \cdot 2,186 = \dots 2339 \text{ кл.}$$

$$p_2 = 1070 \cdot \left\{ \left[ \frac{1,44 \cdot \overline{1,45^2}}{2 \cdot 3} + \frac{2,88 \cdot \overline{1,45^2} \cdot 2}{2 \cdot 3} \right] : 1,45 + \left[ \frac{2,88 \cdot 0,84}{2} \cdot \left( \frac{0,84 \cdot 2}{3} + 0,53 \right) + \frac{3,71 \cdot 0,84}{2} \cdot \left( \frac{0,84}{3} + 0,53 \right) \right] : 1,37 \right\} = \\ = 1070 \cdot (1,740 + 1,882) = 1070 \cdot 3,622 = \dots 3875 \text{ кл.}$$

$$p_3 = \left[ \left( \frac{2,88 \cdot 0,84}{2} \cdot \frac{0,84}{3} + \frac{3,71 \cdot \overline{0,84^2} \cdot 2}{2 \cdot 3} \right) : 1,37 \right] \cdot 1070 = 1070 \cdot 0,880 = \\ = 942 \text{ кл.}$$

В. Изгибающіе моменты.

Каждую изъ трехъ панелей передней стойки разсматриваемъ какъ балку свободнолежащую на двухъ опорахъ, хотя стойка представляетъ собою неразрѣзную балку. Очевидно указанный способъ упрощаетъ вычисленія и вмѣстѣ съ тѣмъ повышаетъ необходимый запасъ прочности.

Обозначивъ чрезъ  $p$  нагрузку на пог. ед-цу длины, въ данномъ случаѣ отъ давленія воды (см. § 8), послѣдовательно найдемъ.

1) Первая (сверху) панель. (См. Фиг. 10, Табл. II и стр. 13—определе́ніе  $p_1$ ):

$$M_1 = 0,794 \cdot p \cdot x - 1,44 \cdot x \cdot \frac{x}{2} \cdot p + \frac{1,44}{1,45} \cdot \frac{x^2}{2} \cdot \frac{x}{3} \cdot p.$$

Свѣченіе, въ которомъ  $M_1$  достигаетъ max., опредѣлится изъ условія:

$$\frac{dM_1}{dx} = 0,794 \cdot p - 1,44 \cdot p \cdot x + \frac{1,44}{1,45} \cdot \frac{x^2}{2} \cdot p = 0$$

или:  $0,497 x^2 - 1,44 x + 0,794 = 0$

Откуда:

$$x = \frac{1,44 - \sqrt{1,44^2 - 4 \cdot 0,497 \cdot 0,794}}{2 \cdot 0,497} = 0,74 \text{ м.}$$

Подставляя найденное значение  $x$  въ уравненіе для  $M_1$ , получимъ:

$$\text{мах. } M_1 = 1070 \cdot 0,260 = 27820 \text{ клгр. см.}$$

2) Вторая (средняя) панель:

$$M_2 = 1,75 \cdot x \cdot p - 2,88 \cdot x \cdot \frac{x}{2} \cdot p + \frac{2,88}{2,90} \cdot \frac{x^2}{2} \cdot \frac{x}{3} \cdot p.$$

$$\frac{dM_2}{dx} = 1,74 \cdot p - 2,88 \cdot x \cdot p + \frac{2,88}{2,90} \cdot \frac{x^2}{2} \cdot p = 0.$$

$$0,497 x^2 - 2,88 x + 1,740 = 0$$

$$x = \frac{2,88 - \sqrt{2,88^2 - 4 \cdot 0,497 \cdot 1,740}}{2 \cdot 0,497} = 0,69 \text{ м.}$$

$$\text{мах. } M_2 = 1070 \cdot 0,568 = 60776 \text{ клгр. см.}$$

3) Третья (нижняя) панель.

$$M_3 = 0,88 \cdot p \cdot (x + 0,53) - 3,71 \cdot p \cdot \frac{x}{2} \cdot x + \frac{3,71}{3,74} \cdot p \cdot \frac{x^3}{6}.$$

$$\frac{dM_3}{dx} = 0,88 \cdot p - 3,71 \cdot p \cdot x + \frac{3,71}{3,74} \cdot p \cdot \frac{x^2}{2} = 0$$

$$0,497 x^2 - 3,71 x + 0,88 = 0$$

$$x = \frac{3,71 - \sqrt{3,71^2 - 4 \cdot 0,497 \cdot 0,88}}{2 \cdot 0,497} = 0,24 \text{ м.}$$

$$\text{мах. } M_3 = 1070 \cdot 0,573 = 61311 \text{ клгр. см.}$$

С. Усилія въ частяхъ передней стойки.

Въ нижеслѣдующемъ опредѣленіи (Фиг. 10, Табл. II) большія буквы обозначаютъ усилія, тѣ-же но малыя буквы—длины соответствующихъ элементовъ фермы;  $\angle \alpha$ —острый уголъ между направленіями передней стойки и распорки,  $\angle \beta$ —острый уголъ между направленіями задней стойки и распорки,  $\angle \gamma$ —острый уголъ, составляемый направленіемъ раскоса съ вертикалью.

По общему способу сѣченій для любой панели имѣемъ уравненіе:

$$M_n - V_n \cdot t_n \cdot \text{Sin } \alpha_n = 0,$$

гдѣ  $M_n$ —моментъ внѣшнихъ силъ относительно ( $n$ )-го узла,  $V_n$ —искомое усиліе въ части стойки,  $t_n$ —длина ( $n$ )-й горизонтальной связи (распорки).

Отсюда:

$$V_n = + \frac{M_n}{t_n \cdot \text{Sin } \alpha_n},$$

при чемъ  $\text{Sin } \alpha_n = \text{Const.} = 0,99619.$



Поэтому находимъ:

$$M_1 = 267 \cdot (2,01 - 2,09 \cdot \text{Cos } \alpha_n) = 267 \cdot 1,84 = 491,28 \text{ кггр. м.}$$

$$M_2 = 267 \cdot 3,24 + 2339 \cdot 1,22 = \dots = 3718,66 \text{ кггр. м.}$$

$$M_3 = 267 \cdot 4,56 + 2339 \cdot 2,54 + 3875 \cdot 1,09 = 11382,33 \text{ кггр. м.}$$

$$1) \text{ Первая панель } \dots V_1 = \frac{49128}{209 \cdot 0,99619} = 236 \text{ кггр.}$$

$$2) \text{ Средняя панель } \dots V_2 = \frac{371866}{266 \cdot 0,99619} = 1404 \text{ кггр.}$$

$$3) \text{ Нижняя панель } \dots V_3 = \frac{1138233}{320 \cdot 0,99619} = 3571 \text{ кггр.}$$

Д. Усилия въ частяхъ задней стойки опредѣляются, подобно предыдущему, изъ уравненія:

$$S_n = - \frac{M_{n-1}}{t_{n-1} \cdot \text{Sin } \beta_{n-1}},$$

при чемъ  $\text{Sin } \beta_n = \text{Const.} = 0,95536$ .

Имѣемъ:

$$M_0 = 0$$

$$M_1 = 267 \cdot 2,02 = \dots = 539,34 \text{ кггр. м.}$$

$$M_2 = 267 \cdot 3,47 + 2339 \cdot 1,45 = 4318,04 \text{ кггр. м.}$$

Слѣдовательно:

$$1) \text{ Первая панель } S_1 = 0$$

$$2) \text{ Средняя панель } S_2 = - \frac{539,34}{2,09 \cdot 0,95536} = - 270 \text{ кггр.}$$

$$3) \text{ Нижняя панель } S_3 = - \frac{4318,04}{2,66 \cdot 0,95536} = - 1699 \text{ кггр.}$$

Е. Усилия въ раскосахъ опредѣляются, вырѣзая соответственные узлы и проектируя усилия на вертикаль. ось, изъ выраженія:

$$D_n = - \frac{(V_n - V_{n-1}) \cdot S_n \alpha_{n-1} + p_{n-1} \cdot Cs \alpha_{n-1}}{Cs \gamma_n},$$

при чемъ (Фиг. 10, Табл. II):  $\text{Cos } \gamma_n = \frac{h_n}{d_n}$ ;  $S_n \alpha_n = \text{Const.} = 0,99619$ ;  
 $Cs \alpha_n = \text{Const.} = 0,08716$ .

По подстановкѣ въ общее выраженіе для  $D_n$  соответственныхъ значеній, находимъ:

1) Верхній раскосъ.

$$D_1 = - \frac{236 \cdot 0,99619 + 267 \cdot 0,08716}{2,01} \cdot \dots = - 2,77 = - 356 \text{ кггр.}$$

2) Средній раскосъ.

$$D_2 = - \frac{1168 \cdot 0,99619 + 2339 \cdot 0,08716}{1,44} \cdot 2,90 = - 2753 \text{ кгр.}$$

Нижній раскосъ.

$$D_3 = - \frac{2167 \cdot 0,99619 + 3875 \cdot 0,08716}{1,36} \cdot 3,37 = - 6183 \text{ кгр.}$$

Г. Усилія въ горизонтальныхъ связяхъ (распоркахъ). Вырѣзая соответственные узлы и проектируя усилія на горизонтальное направленіе, найдемъ общее выраженіе для  $T_n$ :

$$T_n = (S_{n+1} - S_n) \cdot Cs \beta_n - D_n \cdot Sin \gamma_n.$$

Подставляя въ это уравненіе для каждой распорки извѣстныя величины, такимъ образомъ получимъ:

1) Самая верхняя распорка.

$$T_0 = 0$$

2) Вторая (сверху) распорка.

$$T_1 = - \left( 270 \cdot 0,29765 - 356 \cdot \frac{1,91}{2,77} \right) = + \dots 165 \text{ кгр.}$$

3) Третья (сверху) распорка.

$$T_2 = - \left( 1429 \cdot 0,29765 - 2753 \cdot \frac{2,54}{2,90} \right) = + 1986 \text{ кгр.}$$

4) Самая нижняя распорка (ось вращенія фермы).

Для нижней распорки находимъ усиліе, вырѣзая передній узелъ, въ которомъ сходятся только два элемента, и проектируя усилія на гориз. ось:

$$T_3 = - \left( p_3 \cdot Cs \alpha + V_3 \cdot Sn \alpha \right) = - \dots 1250 \text{ кгр.}$$

§ 10. Опредѣленіе усилій отъ дѣйствія вертикальной нагрузки.

Нагрузка состоитъ изъ двухъ грузовъ по 425 килгр., приложенныхъ въ верхнихъ узлахъ (см. выше § 8) — Фиг. 10, Табл. II.

А. Передняя стойка:

$$V_n = - \frac{M_n}{t_n \cdot Sn \alpha_n}, \text{ гдѣ } Sn \alpha_n = Const. = 0,99619.$$

$$M_1 = 425 \cdot (1,91 + 0,63) = 1079,50 \text{ кгр. м.}$$

$$M_2 = 425 \cdot (2,36 + 1,08) = 1462,00 \text{ кгр. м.}$$

$$M_3 = 425 \cdot (2,78 + 1,50) = 1819,00 \text{ кгр. м.}$$

$$1) \text{ Вер. панель } V_1 = - \frac{107950}{209 \cdot 0,99619} = - 518 \text{ клгр.}$$

$$2) \text{ Ср. панель } V_2 = - \frac{146200}{266 \cdot 0,99619} = - 552 \text{ клгр.}$$

$$3) \text{ Ниж. панель } V_3 = - \frac{181900}{320 \cdot 0,99619} = - 572 \text{ клгр.}$$

В. Задняя стойка:

$$1) \text{ В. панель } S_1 = - \frac{425}{2,01} \cdot 2,10 = - \frac{425 \cdot 1,28}{1,28 \cdot 0,95536} = - 445 \text{ клгр.}$$

$$2) \text{ Ср. панель } S_2 = - \frac{425 \cdot (1,46 + 0,18)}{2,09 \cdot 0,95536} = - \dots - 350 \text{ клгр.}$$

$$3) \text{ Н. панель } S_3 = - \frac{425 \cdot (1,58 + 0,30)}{2,66 \cdot 0,95536} = - \dots - 315 \text{ клгр.}$$

С. Раскосы:

$$1) \text{ В. панель } D_1 = \frac{(S_1 - S_2) \cdot 0,95536 \cdot 2,77}{2,01} = + 136 \text{ клгр.}$$

$$2) \text{ Ср. панель } D_2 = \frac{(S_2 - S_3) \cdot 0,95536 \cdot 2,90}{1,44} = + 70 \text{ клгр.}$$

$$3) \text{ Н. панель } D_3 = + \frac{(V_3 - V_2) \cdot 0,99619}{1,36} \cdot 3,37 = + 53 \text{ клгр.}$$

Д. Распорки:

$$1) \text{ Верхняя } T_0 = - \frac{425 \cdot 0,63}{2,01} = \\ = S_1 \cdot \text{Sin} \alpha_2 = - 445 \cdot 0,29765 = - \dots - 133 \text{ клгр.}$$

$$2) \dots T_1 = (S_1 - S_2) \cdot 0,29765 - D_1 \cdot \frac{1,91}{2,77} = - 59 \text{ клгр.}$$

$$3) \dots T_2 = (S_2 - S_3) \cdot 0,29765 - D_2 \cdot \frac{2,54}{2,90} = - 51 \text{ клгр.}$$

$$4) \text{ Нижняя } T_3 = - V_3 \cdot \text{Cs } 85^\circ = + 572 \cdot 0,08716 = + 50 \text{ клгр.}$$

Е. Распорка  $T_0$  кроме того подвергается мьстному изгибу (Фиг. 6, Табл. I).

Всьсь досокъ (32 клгр.) и всьсь человекъ (80 клгр.) можно принять распредьляющимся равномьрно: 112 <sup>кп./п.м.</sup>

Всьсь рельсь и лебедки передаются поровну на оба верхне узла фермы.

Тяговое усилие, всьсь щитовой подъемной цьпи и крана передаются только на львый рельсь.

Поэтому:

$$P_1 = \frac{48}{2} + \frac{160}{2} + 88 + 75 + 367 = 634 \text{ кгр.}$$

$$P_2 = \frac{48}{2} + \frac{160}{2} = \dots = 104 \text{ кгр.}$$

Тяговое усилие слѣдовало бы рассчитать на верхній щитъ + + высота (20 — 25) см., соответствующая слою переливающейся через щитъ воды, такъ какъ по мѣрѣ вынутія щитовъ вода будетъ спадать. Тогда бы тяговое усилие было (Фиг. 7, Табл. I):

$$\frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{1,00 + 0,20}{2} \cdot 0,80 \cdot 1070 \cdot 0,26 \right\} = 67 \text{ кгр.}$$

Но такъ какъ возможно, что рабочіе будутъ вынимать всѣ щиты до низу въ одномъ пролетѣ, то вода не можетъ за это время упасть на столько, чтобы поверхъ самаго нижняго щита было 0,20 — 0,25 м., а потому въ этомъ предположеніи тяговое усилие будетъ близко къ вышепринятому. Итакъ, имѣемъ (Фиг. 6, Табл. I):

$$A = \frac{634 \cdot 1,14 + 104 \cdot 0,14}{1,28} = 576 \text{ кгр.}$$

$$B = 738 - A = \dots = 162 \text{ кгр.}$$

Изгибающій моментъ отъ сплошной равномерной нагрузки можно выразить слѣд. ур-іемъ (Фиг. 11, Табл. II):

$$M_x = \frac{p \cdot (l - 2a)}{2} \cdot x - \frac{p \cdot (x - a)^2}{2}$$

Наибольшія значенія изгибающаго момента отъ сосредоточенной узловой нагрузки будутъ для точекъ, приходящихся подъ грузами; между этими точками моментъ будетъ измѣняться по закону прямой. Изъ эпюры (Фиг. 12, Табл. II) видно, что:

$$\max M = 8064 + 784 = 8848 \text{ кл. см.}$$

Кромѣ того, правое колесо лебедки прикрѣпляется крюкомъ за правый рельсъ, отчего на него дѣйствуетъ еще сила  $P_0$  (Фиг. 3, Табл. I), которую найдемъ такъ:

$$x = \frac{42 \cdot 214}{481} + 14 = 19 + 14 = 33 \text{ см.}$$

$$P_0 \cdot 100 = 367 \cdot 33, \text{ откуда: } P_0 = 123 \text{ кгр.}$$

Соответственныя (Фиг. 6, Табл. I) опорныя реакціи и изгибающій моментъ будутъ уменьшать напряженіе въ распорѣ при вынутіи щитовъ. Этотъ облегчающій частный случай въ расчетъ не принять.

§ 11. Таблица усилий, изгибающих моментов и допускаемых напряжений в частях фермы.

Элементы.			Усилия в элементах в килограмм.				Изгибающий момент, килограмм. метр.	Допускаемое напряжение для сжатых и сжатовытянутых частей фермы на кв. сантиметр.	
Наименование.	Обозначение.	Длина метр.	От давления воды.	От верт. сил.	Max. +	Min. —		Растяжение по Вейрауху $R_1$	Сжатие по Ренкину $R_2$
Передняя стойка.	$V_1$	2,02	+ 236	—518	236	518	27820	644	578
	$V_2$	1,45	+1404	—552	1404	552	60776	567	538
	$V_3$	1,37	+3571	—572	3571	572	61311	541	469
Задняя стойка.	$S_1$	2,10	0	—445	0	445	—	700	254
	$S_2$	1,51	— 270	—350	0	620	—	700	369
	$S_3$	1,42	—1669	—315	0	2014	—	700	392
Раскосы.	$D_1$	2,77	— 356	+136	136	356	—	567	149
	$D_2$	2,90	—2753	+ 70	70	2753	—	693	194
	$D_3$	3,37	—6183	+ 53	53	6183	—	697	266
Распорки.	$T_0$	1,28	0	—133	0	133	8848	700	432
	$T_1$	2,09	+ 165	— 59	165	59	—	567	219
	$T_2$	2,66	+1986	— 51	1986	51	—	693	184
	$T_3$	3,20	—1250	+ 50	50	1250	—	686	146

§ 12. Подбор сечений. Основное допускаемое напряжение на растяжение принято  $R = 700 \frac{\text{кпл.}}{\text{см.}^2}$

В сжатых частях напряжение уменьшено по формул Шварца и Ренкина, каковое уменьшение вычислено по таблицам Зубова \*).

В сжато-вытянутых частях напряжение на растяжение уменьшено по формул Вейрауха:

$$R_1 = R \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\text{Min. } N}{\text{Max. } N} \right),$$

где Max. и Min.—абсолютныя величины усилий. Напряжение же на сжатие  $R_2$  в этих частях вычислено по формул Шварца и Ренкина, при чем в последнюю формулу подставлялось или  $R_1$ , или  $600 \frac{\text{кпл.}}{\text{см.}^2}$

№№ сортамента см. Hütte, стр. 502, ч. I.

\*) Зубовъ. Моменты инерцій. Москва. 1900 г. Стр. 120—121.

На перерѣзваніе заклепокъ принято  $500 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$ , такъ какъ приходится прикрѣплять сжато-вытянутыя части. Въ другихъ мѣстахъ принято  $700 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2} \times 0,8 = 560 \frac{\text{кил.}}{\text{см.}^2}$

При вычисленіи числа заклепокъ въ прикрѣпленіяхъ во вниманіе не принято вліяніе изгибающаго момента, такъ какъ таковой въ мѣстахъ стыковъ (узловъ) близокъ къ нулю.

При выборѣ сѣченій отдѣльныхъ частей фермы необходимо имѣть въ виду, чтобы выступающіе полки уголковъ, коробокъ, края листовъ и т. п. по возможности лежали въ двухъ параллельныхъ плоскостяхъ, ограничивающихъ очертанія сѣченія передней стойки съ цѣлью избѣгать при опусканіи фермъ, ударовъ выступающихъ частей, прогиба и излома фермъ и неплотнаго соприкасанія уложенныхъ на флутбетъ фермъ, вліяющаго на уменьшеніе глубины отверстия и увеличеніе высоты верхняго порога.

Кромѣ того, для правильности передачи усилій въ узлахъ (и уничтоженія дополнительныхъ изгибающихъ моментовъ) необходимо соблюдать, чтобы оси элементовъ фермы, сходящихся въ данномъ узлѣ, пересѣкались въ одной точкѣ.

#### А. Передняя стойка.

1) Сѣченіе стойки въ нижней панели  $V_3$  показано на Фиг. 13, Табл. II.

$$l = 1,37 \text{ м.}; \quad \text{усилія: } \begin{cases} + 3571 \text{ к.} \\ - 572 \text{ к.} \end{cases} \quad M = 61311 \text{ в. см.}$$

Наименованіе составныхъ частей.	Размѣръ или №№ сорта-мента.	Площадь brutto $\frac{\text{см.}^2}$	Площадь netto $\frac{\text{см.}^2}$	Разст. д. т. отъ гор. п. тавра. см.	Статич. моментъ $\frac{\text{см.}^3}$
Тавръ . . . . .	$10 \frac{1}{3}$	12,0	12,0	+ 1,16	+ 13,9
Швеллеръ . . . . .	№ 8	11,0	8,6	- 1,57	- 17,3
Швеллеръ . . . . .	№ 8	11,0	8,6	- 9,57	- 105,3
2 в. листа . . . . .	$12,5 \times 1$	25,0	19,0	- 6,25	- 156,3
Итого . . . . .		59	48,2	—	- 265

Поэтому:

$$y = - \frac{265}{59} = - 4,5 \text{ см.}$$

Имѣемъ:

$$I_{max. netto}^{xx} = 21,2 + 12 \cdot \overline{5,7^2} + 2 \cdot 21,7 + 11 \cdot (\overline{2,9^2} + \overline{5,1^2}) + \\ + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot \overline{12,5^3} + 25 \cdot \overline{1,75^2} - 1,5 \cdot 1,8 \cdot 2 \cdot (\overline{2,25^2} - \overline{5,75^2}) = 1029 \text{ см.}^4$$

$$I_{min. br.}^{yy} = 2 \cdot 107 + 71,3 + 2 \cdot 12,5 \cdot \overline{1^3} \cdot \frac{1}{12} + 2 \cdot 12,5 \cdot \overline{4,5^2} = 793,6 \text{ см.}^4.$$

$$\varrho^2_{min.} = \frac{793,6}{59} = 13,45 \text{ см.}^2; \varphi = 0,897.$$

Допускаемые напряжения опредѣляются такъ:

$$R_1 = 700 \cdot \left( 1 - \frac{572}{2 \cdot 3571} \right) = 644 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; R_2 = 644 \cdot 0,897 = 578 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительныя напряжения:

$$n_1 = \frac{61311 \cdot 8}{1029} + \frac{3571}{48,2} = 551 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 644 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_2 = \frac{61311 \cdot 9,5}{1029} + \frac{572}{48,2} = 577 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 578 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

2) Сѣченіе стойки въ средней панели  $V_2$  представлено на Фиг. 14, Табл. II.

$$l = 1,45 \text{ м.}; \quad \text{усилія: } \begin{cases} +1404 \text{ к.л.} \\ -552 \text{ к.л.} \end{cases} \quad M = 60776 \text{ к.л. см.}$$

Наименованіе составныхъ частей.	Размѣръ или №№ сортамента.	Площадь brutto см. <sup>2</sup>	Площадь netto см. <sup>2</sup>	Разст. п. т. отъ гор. п. тавра. см.	Статическій моментъ. см. <sup>3</sup>
Тавръ . . . .	10/5	12	12,0	+ 1,16	+ 13,9
Швеллеръ . .	№ 8	11	8,6	— 1,57	— 17,3
Швеллеръ . .	№ 8	11	8,6	— 10,07	— 110,8
2 в. листа. .	13×1	26	20,0	— 6,50	— 169,0
Итого . . .		60	49,2	—	— 283,2

Поэтому:  $y = -\frac{283,2}{60} = -4,7 \text{ см.}$

Имѣемъ:

$$I_{max. netto}^{xx} = 21,2 + 12 \cdot \overline{5,9^2} + 2 \cdot 21,7 + 11 \cdot (\overline{3,1^2} + \overline{5,4^2}) + \\ + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot \overline{13^3} + 26 \cdot \overline{1,8^2} - 1,5 \cdot 1,8 \cdot 2 \cdot (\overline{2,45^2} + \overline{6,05^2}) = 1129 \text{ см.}^4$$

$$I_{min. brutto}^{yy} = 2 \cdot 107 + 71,3 + 2 \cdot 13 \cdot \overline{1^3} \cdot \frac{1}{12} + 2 \cdot 13 \cdot \overline{4,5^2} = 813,9 \text{ см.}^4$$

$$\varrho^2_{min.} = \frac{813,9}{60} = 13,55 \text{ см.}^2; \varphi = 0,896.$$

Допускаемые напряжения:

$$R_1 = 700 \cdot \left( 1 - \frac{552}{2 \cdot 1404} \right) = 567 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; R_2 = 600 \cdot 0,896 = 538 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Действительные напряжения:

$$n_1 = \frac{60776}{1129} \cdot 8,3 + \frac{1404}{49,2} = 477 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 567 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_2 = \frac{60776}{1122} \cdot 9,7 + \frac{552}{49,2} = 534 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 538 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Въ виду конструктивныхъ соображеній, частямъ  $V_2$  и  $V_3$  стойки придано одинаковое поперечное сѣченіе, необходимое для  $V_2$ .

3) Сѣченіе стойки въ верхней панели  $V_1$  показано на Фиг. 15, Табл. П.

$$\text{Усилия: } \left\{ \begin{array}{l} + 236 \text{ к.л.} \\ - 518 \text{ к.л.} \end{array} \right. \quad | \quad l = 2,02 \text{ м.} \quad | \quad M = 27820 \text{ к.л. см.}$$

Наименованіе составныхъ частей.	Размѣръ или №№ сортамента.	Площадь brutto $\frac{\text{см.}^2}{\text{см.}^2}$	Площадь netto $\frac{\text{см.}^2}{\text{см.}^2}$	Разст. ц. т. отъ гор. п. тавра. см.	Статическій моментъ $\frac{\text{см.}^3}{\text{см.}^3}$
Тавръ . . . . .	$10/3$	12	12,0	+ 1,16	+ 13,9
Швеллеръ . . . . .	№ 8	11	8,6	— 1,57	— 17,3
Швеллеръ . . . . .	№ 8	11	8,6	— 6,07	— 66,8
2 в. листа . . . . .	$9 \times 1$	18	12,0	— 4,50	— 81,0
Итого . . . . .		52	41,2	—	— 151,2

Поэтому:

$$y = - \frac{151,2}{52} = - 2,9 \text{ см.}$$

Имѣемъ:

$$I_{\text{min. netto}}^{\text{xx}} = 21,2 + 12 \cdot 4,1^2 + 2 \cdot 21,7 + 11 \cdot (1,3^2 + 3,2^2) + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 9^3 + 18 \cdot 1,6^2 - 1,5 \cdot 1,8 \cdot 2 \cdot (0,65^2 + 3,85^2) = 482 \text{ см.}^4$$

$$I_{\text{max. brutto}}^{\text{yy}} = 2 \cdot 107 + 71,3 + 2 \cdot 9 \cdot 1^3 \cdot \frac{1}{12} + 2 \cdot 9 \cdot 4,5^2 = 651 \text{ см.}^4$$

$$q_{\text{min}}^2 = \frac{482}{41,2} = 11,7 \text{ см.}^2; \varphi = 0,781.$$

Допускаемые напряжения:

$$R_1 = 700 \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{236}{518} \right) = 541 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; R_2 = 600 \cdot 0,781 = 469 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$



Дѣйствительныя напряженія:

$$n_1 = \frac{27820 \cdot 6,1}{482} + \frac{236}{41,2} = 409 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 541 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_2 = \frac{27820 \cdot 7,9}{482} + \frac{518}{41,2} = 468 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 469 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Всѣ вышенайденныя напряженія отъ изгиба въ отдѣльных частяхъ передней стойки получены въ предположеніи работы этихъ частей какъ балокъ разрывныхъ, свободно лежащихъ на двухъ опорахъ; для балки неразрывной, каковой въ дѣйствительности является передняя стойка, напряженія отъ изгиба, согласно имѣющейся эмпирической формулы, составляютъ  $\frac{3}{4}$  напряженія балки разрывной, свободнолежащей на двухъ опорахъ.

В. Задняя стойка.

Вся стойка спроектирована цѣльной изъ швеллера № 8 (Фиг. 17, Табл. II), для котораго имѣемъ:

$$\omega_{br.} = 11,0 \overline{\text{см.}^2}; \omega_{netto} = 8,6 \overline{\text{см.}^2}; I_{min.} = 21,7 \overline{\text{см.}^4}; \rho^2 = \frac{I}{\omega} = 2 \overline{\text{см.}^2}$$

1) Верхняя панель  $S_1$ , длиною  $l_1 = 2,10$  м.

Усиліе = — 454 вл.;  $\varphi = 0,363$ .

Допускаемое напряженіе:

$$R_2 = 700 \times 0,363 = 254 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n = \frac{445}{8,6} = 52 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

2) Средняя панель  $S_2$ , длиною  $l_2 = 1,51$  м.

Усиліе = — 620 вл.;  $\varphi = 0,527$ .

Допускаемое напряженіе:

$$R_2 = 700 \times 0,527 = 369 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n = \frac{620}{8,6} = 72 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

3) Нижняя панель  $S_3$ , длиною  $l_3 = 1,42$  м.

Усиліе = — 2014 вл.;  $\varphi = 0,560$ .

Допускаемое напряженіе:

$$R_2 = 700 \times 0,560 = 392 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n = \frac{2014}{8,6} = 236 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 392 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

С. Раскосы.

1) Верхняя панель. Раскосъ  $D_1$  спроектированъ изъ швеллера № 8 (Фиг. 17, Табл. II). Длина его  $l_1 = 2,77$  м.;  $\omega_{netto} = 8,6 \overline{\text{см.}^2}$ .;  $I_{min.} = 21,7 \overline{\text{см.}^4}$ ;  $\varrho^2 = 2 \overline{\text{см.}^2}$ ;  $\varphi = 0,249$ . Усилія:  $\begin{cases} - 356 \text{ к.л.} \\ + 136 \text{ к.л.} \end{cases}$

Допускаемыя напряженія:

$$R_1 = 700 \cdot \left(1 - \frac{136}{2 \cdot 356}\right) = 567 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; R_2 = 600 \cdot 0,249 = 149 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительныя напряженія:

$$n_1 = \frac{136}{8,6} = 16 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; n_2 = \frac{356}{8,6} = 42 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

2) Средняя панель. Раскосъ  $D_2$  изъ швеллера № 8 и листа (Фиг. 18, Табл. II). Длина его  $l_2 = 2,90$  м.; усилія =  $\begin{cases} + 70 \text{ к.л.} \\ - 2753 \text{ к.л.} \end{cases}$

Наименованіе составныхъ частей.	Размѣръ или №№ сортамента.	Площадь brutto (см.) <sup>2</sup>	Площадь netto (см.) <sup>2</sup>	Разст. п. г. отъ гор. п. швеллера (см.)	Статическій моментъ (см.) <sup>2</sup>
Швеллеръ. . .	№ 8	11	9,2	— 1,57	— 17,3
Горизонт. листъ. . . . .	8×1	8	5,0	+ 0,50	+ 4,0
Итого . . . . .		19	14,2	—	— 13,3

Поэтому:

$$y = -\frac{13,3}{19} = -0,7 \text{ см.}$$

Имѣемъ:

$$I_{netto} = 21,7 + 11 \cdot 0,9^2 + 1^3 \cdot 8 \cdot \frac{1}{12} + 8 \cdot 1,2^2 - 2 \cdot 1,5 \cdot 1,6^3 \cdot \frac{1}{12} - 2 \cdot 1,5 \cdot 1,6 \cdot 0,9^2 = 38,3 \overline{\text{см.}^4}$$

$$\varrho^2 = 2,7 \overline{\text{см.}^2}; \varphi = 0,28.$$

Допускаемыя напряженія:

$$R_1 = 700 \cdot \left(1 - \frac{70}{2,2753}\right) = 693 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; R_2 = 693 \cdot 0,28 = 194 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n_2 = \frac{2753}{14,2} = 193,8 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 194 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

3) Нижняя панель. Раскосъ  $D_3$  составленъ (Фиг. 19, Табл. II) изъ двухъ швеллеровъ № 10.

Длина раскоса  $l_3 = 3,37$  м.; усилія:  $\begin{cases} -6183 \text{ к.л.} \\ + 53 \text{ к.л.} \end{cases}$

Имѣемъ:

$$\omega_{netto} = 27 - 2 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,5 = 23,4 \overline{\text{см.}^2}$$

$$I_{min.} = 2 \cdot 71,7 - 2 \cdot 1,8 \cdot 4 = 129 \overline{\text{см.}^4}$$

$$\varrho^2 = \frac{129}{23,4} = 5,6 \overline{\text{см.}^2}; \varphi = 0,382.$$

Допускаемыя напряженія:

$$R_1 = 700 \cdot \left(1 - \frac{53}{2 \cdot 6183}\right) = 697 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; R_2 = 697 \cdot 0,382 = 266 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n = \frac{6183}{23,4} = 264 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 266 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

#### Д. Распорки.

Предположивъ всѣ распорки, какъ и раскосъ  $D_1$ , изъ одного швеллера № 8 (Фиг. 17, Табл. II), имѣемъ для сравненія данныя слѣдующей таблицы:

Обозначенія. Элементы.	$D_1$	$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
Длина въ метр. . . . .	2,77	1,28	2,09	2,66	3,20
Усилія въ килогр. $\left\{ \begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right.$	136	0	165	1986	50
	356	133	59	51	1250
Допускаемыя на- пряженія въ $\frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$ $\left\{ \begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right.$	567	700	567	693	686
	149	423	219	184	146

Допускаемыя напряженія опредѣлены такъ:

$$R_{T_2} = 700 \cdot 0,605 = 423 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

$$R_{T_1} = 700 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{59}{165}\right) = 567 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; R'_{T_1} = 600 \cdot 0,365 = 219 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

$$R'_{T_1} = 700 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{51}{1986}\right) = 693 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; \quad R''_{T_2} = 693 \cdot 0,263 = 184 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

$$R'_{T_3} = 700 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{50}{1250}\right) = 686 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}; \quad R''_{T_3} = 686 \cdot 0,213 = 146 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Слѣдовательно, въ повѣркѣ для указанныхъ усилій нуждается лишь *распорка*  $T_3$ , для которой имѣемъ дѣйствительное напряженіе:

$$n = \frac{1250}{8,6} = 145 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 146 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Вслѣдствіе еще и другого назначенія распорки  $T_3$  (см. дальше, § 14) сѣченіе ея сконструировано по Фиг. 16, Табл. II.

Распорка  $T_0$ , принятая изъ швеллера № 8, вполне удовлетворяетъ указанному въ таблицѣ усилію. Но ее необходимо провѣрить еще на *местный изгибъ* отъ вѣса человѣка, досокъ, рельсъ, лебедки и тягового усилія. Получаемый при этомъ моментъ, какъ выведено выше, будетъ:

$$M_{max.} = 8848 \text{ к.л. см.}$$

Поэтому распорку  $T_0$  необходимо составить изъ швеллера № 8 и двухъ вертикальныхъ листовъ  $5 \times 1 \text{ см.}^2$  (Фиг. 20, Табл. II).

Тогда имѣемъ:

$$\omega_{br.} = 11 + 2 \cdot 5 \cdot 1 = 21 \text{ см.}^2; \quad \omega_{netto} = 8,6 + 7 = 15,6 \text{ см.}^2.$$

Разстояніе центра тяжести отъ горизонтальной полки: для швеллера = 1,57 см.; для листовъ = 2,50 см.

$$\text{Статическій моментъ сѣченія} = 17,3 + 25 = 42,3 \text{ см.}^3.$$

Слѣдовательно:

$$y = \frac{42,3}{21} = 2 \text{ см.}$$

$$I_{netto} = 21,7 + 11,04 \cdot 0,43^2 + \frac{2,5^2}{12} + 10 \cdot 0,5^2 = 47 \text{ см.}^4$$

$$\rho^2 = \frac{47}{21} = 2,2 \text{ см.}^2; \quad \varphi = 0,617.$$

Допускаемое напряженіе:

$$R_2 = 700 \cdot 0,617 = 432 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n_2 = \frac{8848 \cdot 2,2}{47} + \frac{171}{15,6} = 392 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 432 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Собственный вѣсъ частей фермы не принять во внимание, вслѣдствіе малой его величины сравнительно съ дѣйствующими силами; запасъ во всѣхъ частяхъ болѣе, чѣмъ достаточенъ.

Такъ напр., распорка  $T_2$ , имѣя длину  $l_2 = 2,66$  м., даетъ:

$$M = \frac{pl^2}{8} = \frac{8,6 \cdot 2,66^2}{8} = 7,61 \text{ кл. м.} = 761 \text{ кл. см.}$$

$$n_+ = \frac{M}{W} = \frac{761 \cdot 2,93}{21,7} = 103 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_- = \frac{M}{W} = \frac{761 \cdot 1,57}{21,7} = 55 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

### § 13. Число заклепокъ и болтовъ.

Заклепки діам.  $d = 1,5$  см.; площадь  $\omega = 1,77$  см.<sup>2</sup>

#### 1) Раскосы:

Для  $D_1$ : . . . .  $n = \frac{356}{500 \cdot 1,77} = 0,4$ ; . . . . принято  $n = 4$

„  $D_2$ : . . . .  $n = \frac{2753}{500 \cdot 1,77} = 3,1$ ; . . . . „  $n = 6$

„  $D_3$ : . . . .  $n = \frac{6183}{500 \cdot 1,77} = 7,0$ ; . . . . „  $n = 8$

#### 2) Распорки:

Для  $T_0$ : . . . .  $n = \frac{576 + 56}{560 \cdot 1,77} + \frac{133}{560 \cdot 1,77} = 1,0^*)$  „  $n = 4$

„  $T_1$ : . . . .  $n = \frac{185}{500 \cdot 1,77} < 1$ ; . . . . „  $n = 4$

Для  $T_2$ : . . . .  $n = \frac{1986}{500 \cdot 1,77} = 2,3$ ; . . . . „  $n = 4$

„  $T_3$ : . . . .  $n = \frac{1250}{500 \cdot 1,77} < 2$ ; . . . . „  $n = 8$

#### 2) Задняя стойка:

Для  $S_3$  имѣемъ:  $n = \frac{2014}{560 \cdot 1,77} = 2$

Площадь сѣченія коробки № 8:

$$\omega_{\text{netto}} = 11,04 - 2 \cdot 0,8 \cdot 1,5 = 8,64 \text{ кв. см.}$$

Количество односрѣзныхъ заклепокъ,  $d = 1,5$  см.,  $R_m = 392 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$  (\*):

$$n = \frac{8,64 \cdot 392}{560 \cdot 1,77} = 3,5. \quad \dots \text{Принято } n = 6.$$

\*) При болѣе точномъ подсчетѣ число заклепокъ слѣдовало бы опредѣлять не по алгебраической, а геометрической суммѣ усилій.

\*\*) См. стр. 24.

4) Передняя стойка:

$$\text{Для } V_1: \dots n = \frac{267}{560 \cdot 1,77} + \frac{518}{500 \cdot 1,77} = 0,9; \text{ принято } n = 4$$

Для  $V_3$  односрѣзныхъ заклепокъ,  $d = 1,5$  см.:

$$n = \frac{3571}{500 \cdot 1,77} = 4,1 \dots \text{ Принято } n = 8.$$

Двусрѣзныхъ длинныхъ заклепокъ,  $d = 2$  см. и  $\omega = 3,14$  см.<sup>2</sup>, для прикрѣпленія стальныхъ наконечниковъ:

$$n = \frac{3571}{2 \cdot 500 \cdot 3,14} = 1,2 \dots \text{ Принято } n = 4.$$

5) Стыки листовъ у верховаго узла.

Распорка  $T_3$ . Площадь листа:  $\omega_{netto} = 17 \cdot 1 - 2 \cdot 1,5 = 14$  см.<sup>2</sup>

Число односрѣзныхъ заклепокъ,  $d = 1,5$  см.,  $R_m = 488$   $\frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$  \*):

$$n = \frac{14 \cdot 488}{560 \cdot 1,77} = 7; \dots \text{ принято } n = 8.$$

Стойка  $V_3$ . Площадь листа  $\omega_{netto} = 13 \cdot 1 - 2 \cdot 1,5 = 10$  см.<sup>2</sup>.

Число односрѣзныхъ заклепокъ,  $d = 1,5$  см.:

$$n = \frac{10}{0,8 \cdot 1,77} = 7,2; \dots \text{ принято } n = 8.$$

Общій видъ фермы представленъ на Фиг. 45, а детали узловъ на Фиг. 44, 46, 47 и 48, Табл. IV и V; связь для фермъ показана на Фиг. 39, Табл. III.

§ 14. Ось вращения фермы. Нижняя распорка  $T_3$ , согласно дѣйствующаго на нее сжимающаго усилія, можетъ быть принята, какъ это было выше подсчитано\*\*), составленной изъ одного швеллера № 8. Но эта распорка должна вмѣстѣ съ тѣмъ служить и осью вращения. Для образованія опорныхъ частей оси въ формѣ цилиндрическихъ шиповъ ее проще всего можно было бы сдѣлать изъ желѣза круглаго поперечнаго сѣченія, одинаковаго по всей длинѣ діаметра, или измѣняющагося въ зависимости отъ соответственныхъ величинъ изгибающихъ моментовъ, какъ это было принято въ фермахъ плотинъ Маринской системы. Въ виду того, что для полученія достаточной жесткости въ данномъ случаѣ пришлось бы діаметръ выбрать довольно значительныхъ размѣровъ, лучше остановиться на коробчатой формѣ сѣченія, а для образованія шиповъ къ концамъ распорки приклепать на-

\*) См. стр. 33.

\*\*) См. стр. 25—26.

нечники изъ кованной стали. На сторонѣ швеллера (коробки) имѣется еще — удобство соединенія сѣченной стоекъ и рассматриваемой распорки въ узлахъ.

Между лицевыми гранями каждаго подшипника и соответственной (передней или задней) стойки всегда имѣется нѣкоторый зазоръ (Фиг. 24, Табл. II), являющийся частью слѣдствіемъ способа укрѣпленія къ фермѣ шиповъ, частью же дѣлаемый для удобства вращенія оси. Кромѣ того, усилія  $V_3$  (вытягивающее переднюю стойку въ нижней панели) и  $S_3$  (сжимающее заднюю стойку), какъ и  $D_3$  (сжимающее нижній раскосъ) проходятъ черезъ центръ тяжести соответственнаго сѣченія, т. е. въ нѣкоторомъ разстояніи отъ наружной грани стоекъ, а слѣдовательно и отъ лицевой грани подшипника.

Въ настоящемъ случаѣ (при коробчатомъ сѣченіи распорки  $T_3$ ) имѣемъ:

а) для передняго шипа:

длина шипа:  $c = 8,0$  см.; зазоръ между закраинами шипа и лицевой гранью подшипника:  $a = 1$  см.; разстояніе центра узла отъ лицевой грани подшипника:  $b = 8,0$  см.; разстояніе центра узла отъ опорной точки шипа въ которой приложена реакція  $N_1$ :  $m = b + \frac{c}{2} = 8,0 + \frac{8,0}{2} = 12,0$  см.

б) для задняго шипа:

$c_1 = 9$  см.;  $a_1 = 1$  см.;  $b_1 = 4,5$  см.;  $m_1 = 4,50 + \frac{9,0}{2} = 9,0$  см.

Такимъ образомъ усилія, передающіяся отъ фермы на ось вращенія, приложены къ ней въ нѣкоторыхъ опредѣленныхъ разстояніяхъ  $m$  и  $m_1$  отъ опорныхъ ея точекъ; слѣдовательно, достаточность сѣченія распорки  $T_3$  должна быть также провѣрена на мѣстный изгибъ подъ вліяніемъ этихъ усилій.

Прежде всего найдемъ вертикальныя составляющія  $A$  и  $B$  усилій приложенныхъ въ узлахъ  $D$  и  $H$  (Фиг. 9, Табл. I; Фиг. 10 и 24, Табл. II), величина которыхъ опредѣлится изъ уравненій моментовъ дѣйствующихъ силъ относительно узловыхъ точекъ  $H$  и  $D$ , разстояніе между которыми равно расчетной длинѣ распорки  $t_3 = 3,20$  м.

Находимъ:

$$B = \frac{1}{3,20} \cdot \left\{ \frac{3,71 \cdot 3,74}{2} \cdot \left( \frac{3,74}{3} + 0,53 \right) \cdot 1070 + 425 \cdot (1,28 + 2 \cdot 0,42) \right\} = 4381 \text{ кггр.}$$

$$A = \frac{1}{3,20} \cdot \left\{ \frac{3,71 \cdot 3,74}{2} \cdot \left[ \left( \frac{3,74}{3} + 0,53 \right) - 3,2 \cdot \text{Sin} \alpha_1 \right] \cdot 1070 - 425 \cdot (2 \cdot 1,5 + 1,28) \right\} = 2907 \text{ кггр.}$$

Изъ чертежа (Фиг. 24. Табл. II) видно, что вертикальная сила  $B$ , прижимаетъ нижній шипъ къ подшипнику, а вертикальная сила  $A$ , поднимаетъ верхній шипъ, т. е. обѣ производятъ въ оси изгибающіе моменты разныхъ знаковъ, наибольшія значенія которыхъ имѣютъ мѣсто въ точкахъ  $D$  и  $H$ . Найдемъ значенія этихъ моментовъ. Пусть  $N$  и  $N_1$ —проявляющіяся реакціи въ опорныхъ точкахъ, расположенныхъ посрединѣ длины шиповъ. Тогда уравненія моментовъ будутъ:

$$\begin{aligned} N \cdot (m_1 + t_3 + m) &= B \cdot (t_3 + m) - A \cdot (m) \\ N_1 \cdot (m + t_3 + m_1) &= A \cdot (t_3 + m_1) - B \cdot (m_1). \end{aligned}$$

По подстановкѣ вмѣсто буквъ соответственныхъ значеній, найдемъ:

$$\begin{aligned} N \cdot (9,0 + 320,0 + 12,0) &= 4381 \cdot (320,0 + 12,0) - 2907 \cdot 12,0. \\ N_1 \cdot (12,0 + 320,0 + 9,0) &= 2907 \cdot (320,0 + 9,0) - 4381 \cdot 9,0 \end{aligned}$$

Отсюда:

$$\begin{aligned} N &= \frac{4381 \cdot 332 - 2907 \cdot 12}{341} = 4163 \text{ клгр.} \\ N_1 &= \frac{2907 \cdot 329 - 4381 \cdot 9}{341} = 2689 \text{ клгр.} \end{aligned}$$

Наибольшій *положительный* моментъ въ точкѣ  $H$ :

$$\text{Max. } M_H = +4163 \cdot 9 = 37468 \text{ кил. см.}$$

Наибольшій *отрицательный* моментъ въ точкѣ  $D$ :

$$\begin{aligned} \text{Max. } M_D &= 4163 \cdot (320,0 + 9,0) - 4381 \cdot 320,0 = \\ &= -2689 \cdot 12,0 = -32268 \text{ кил. см.} \end{aligned}$$

Моментъ въ произвольномъ сѣченіи  $m$  на разстояніи  $x$  отъ правой опоры (Фиг. 24, 25, Табл. II):

$$M_x = N \cdot x - B \cdot (x - 9,0).$$

Точка  $O$ , гдѣ изгибающій моментъ равенъ нулю ( $M_x = 0$ ), найдется изъ уравненія (Фиг. 25, Табл. II):

$$N \cdot x - B \cdot (x - 9,0) = 0,$$

$$\text{Откуда: } x = \frac{9 \cdot B}{B - N} = \frac{9 \cdot 4381}{4381 - 4163} = 181 \text{ см.}$$

Сѣченіе это должно имѣть размѣры, достаточные для сопротивленія только сжимающему усилию въ 1250 клгр., т. е. одинъ швеллеръ № 8 въ данномъ мѣстѣ вполне достаточенъ.

Для любого сѣченія  $m_1$   $n_1$  части  $HK$  уравненіе моментовъ будетъ:

$$M_{x_1} = N \cdot x_1 = 4163 \cdot x_1$$

Эпюра моментовъ имѣетъ видъ по Фиг. 25, Табл. II.



Очевидно, что принятое выше для всей распорки  $T_3$  сечение из одного швеллера № 8 недостаточно, его надо усилить. Для получения достаточного момента сопротивления и вмѣстѣ съ тѣмъ для удобства конструирования нижнихъ узловъ, а также и прикрѣпленія стальныхъ наконечниковъ, принято сечение оси вращения по Фиг. 16, Табл. II.

Повѣримъ теперь это новое сечение на изгибъ и подберемъ размѣры наконечниковъ. При этомъ сечение хвоста наконечника въ общую рабочую площадь не вводится; это сечение хвоста должно быть рассчитано независимо и съ тѣмъ же моментомъ сопротивления. Въ тѣхъ случаяхъ, когда на длинѣ хвоста приходится стыкъ вертикальныхъ листовъ сечения по Фиг. 16, площади и мом. инерціи этихъ листовъ также въ расчетъ не принимаются.

Сечение по Фиг. 16, Табл. II.

$$\omega_{brutto} = 11,04 \cdot 2 + 17 \cdot 1 \cdot 2 = 56,08 \text{ кв. см.}$$

$$\omega_{netto} = 56,08 - 2 \cdot 2 \cdot 1,8 \cdot 1,5 = 56,08 - 10,8 = 45,28 \text{ см.}^2$$

$$I_{netto} = 2 \cdot \left\{ 21,7 + 11,04 \cdot (4,0 + 1,57)^2 + 2 \cdot 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot 8,5^3 - \right. \\ \left. - 2 \cdot \left[ 1,8 \cdot \frac{1}{12} \cdot 1,5^3 + 1,8 \cdot 1,5 \cdot (4 + 1,5)^2 \right] \right\} = \\ = 2 \cdot [21,7 + 342,5 + 409,4 - 2 \cdot 82,18] = \\ = 2 \cdot 609,24 = 1218,48 \text{ см.}^4$$

Квадратъ радіуса инерціи:

$$r^2 = \frac{I}{\omega_{br.}} = \frac{1218,48}{56,08} = 21,73 \text{ кв. см.}$$

Поэтому коэффициентъ уменьшенія основного напряженія (при свободной длинѣ въ 341 см.):

$$\varphi = 0,697.$$

Допускаемое напряжение:

$$R_2 = 700 \cdot 0,697 = 488 \frac{\text{кп.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряжение:

$$n_2 = \frac{37468 \cdot 8,5}{1218,48} + \frac{1250}{45,28} = 290 \frac{\text{кп.}}{\text{см.}^2} < 488 \frac{\text{кп.}}{\text{см.}^2}$$

Слѣдовательно, принятое сечение вполне удовлетворяетъ условіямъ прочности по всей длинѣ оси вращения.

Сечение круглое.

При устройствѣ оси вращения изъ желѣза круглаго сечения пришлось бы, для болѣе прочнаго соединенія частей фермы въ нижнихъ узлахъ, нѣсколько удлинить ось вращения и раздвѣ-

нуть подшипники. Тогда получились бы соответственно слѣдующія измѣненія въ принятыхъ и вычисленныхъ выше величинахъ.

$$c = 9 \text{ см.}; a = 1 \text{ см.}; b = 12,5 \text{ см.}; m = 12,5 + \frac{9,0}{2} = 17 \text{ см.}$$

$$c_1 = 9 \text{ см.}; a = 1 \text{ см.}; b_1 = 9,0 \text{ см.}; m_1 = 9,0 + \frac{9,0}{2} = 13,5 \text{ см.}$$

$$A = 2907 \text{ глгр.}; B = 4381 \text{ клгр.}$$

Слѣдовательно:

$$N \cdot (13,5 + 320,0 + 17,0) = 4381 \cdot (320,0 + 17,0) - 2907 \cdot 17,0.$$

$$N_1 \cdot (17,0 + 320,0 + 13,50) = 2907 \cdot (320,0 + 13,5) - 4381 \cdot 13,5.$$

Откуда:

$$N = \frac{4381 \cdot 337 - 2907 \cdot 17}{350,5} = 4071 \text{ клгр.}$$

$$N_1 = \frac{2907 \cdot 333,5 - 4381 \cdot 13,5}{350,5} = 2597 \text{ клгр.}$$

Поэтому:

$$\text{Мах. } M_H = +4071 \cdot 13,5 = +54963 \text{ кил. см.}$$

$$\begin{aligned} \text{Мах. } M_D &= +4071 \cdot (320,0 + 13,5) - 4381 \cdot 320,0 = \\ &= -2597 \cdot 17,0 = -44149 \text{ кил. см.} \end{aligned}$$

$$M_x = N \cdot x - B \cdot (x - 13,5); M_{x_1} = N \cdot x_1 = 4071 \cdot x_1.$$

$$x = \frac{13,5 \cdot B}{B - N} = \frac{13,5 \cdot 4381}{4381 - 4071} = 191 \text{ см.}$$

Въ виду того, что при  $d = 12$  см. получается  $n_2 > R_2$ , принимаемъ  $d = 15$  см.; тогда имѣемъ:

$$\omega_{br.} = 176,7 \overline{\text{см.}}^2; I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 0,0491 \cdot d^4 = 2485,69 \overline{\text{см.}}^4$$

$$\varrho^2 = \frac{I}{\omega_{br.}} = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot 4}{64 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{d^2}{16} = 14,06 \overline{\text{см.}}^2$$

Поэтому, при свободной длинѣ  $l = 350,5$  см., найдемъ:

$$\varphi = 0,585.$$

Допускаемое напряжение:

$$R_2 = 700 \cdot 0,585 = 409,5 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Дѣйствительное напряжение:

$$n_2 = \frac{54963 \cdot 7,5}{2485,69} = \frac{1250}{176,7} = 174 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 409 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Такимъ образомъ изъ сравненія вѣсовъ видимъ, что устройствомъ всей оси вращения изъ желѣза круглаго сѣченія выгоды въ матеріалѣ не получимъ; кромѣ того, въ мѣстахъ прикрѣпленія такой оси къ стойкамъ пришлось бы значительно усложнить конструкцію нижнихъ узловъ.

Итакъ, останавливаемся на вышепринятомъ коробчатомъ сѣченіи для оси вращения.

Стальные наконечники (Фиг. 21, Табл. II).

Поперечное сѣченіе хвоста наконечника рассчитано въ зависимости отъ необходимой площади сѣченія на полныя изгибающее и сжимающее усилія въ этомъ сѣченіи  $H$  оси вращения фермы. Изъ подсчетовъ опредѣлилось сѣченіе 8 см.  $\times$  8 см. которое и было принято во вниманіе\*) при подборѣ сѣченія по Фиг. 16, Табл. II.

Дѣйствительное напряженіе для принятаго сѣченія хвоста:

$$n_2 = \frac{37468 \cdot 4}{\left(\frac{8^4}{12}\right)} + \frac{1250}{8 \cdot 8} = 459 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 488 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Размѣры наконечниковъ показаны на Фиг. 21. Длина ихъ опредѣлилась по числу ( $n=4$ ) заклепокъ  $d=2$  см., принятыхъ для прикрѣпленія ихъ къ стойкамъ нижнихъ узловъ  $V_3$  и  $S_3$ . (См. выше, стр. 27—28).

§ 15. Опорныя части оси вращения — шипы (Фиг. 21, Табл. II).

Задній шипъ.

Изгибающій моментъ для него:

$$M = N \cdot \left(\frac{e_1}{2} + a_1\right) = 4163 \cdot 5,5 = 22897 \text{ кил. см.}$$

Допуская на изгибъ 700  $\frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$ , требуемый моментъ сопротивленія получимъ:

$$W = \frac{22897}{700} = 32,71 \overline{\text{см.}^3}$$

Выражая  $W$  въ функціи діаметра шипа, найдемъ:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 32,71 \overline{\text{см.}^3}$$

Отсюда:

$$d = 6,90 \text{ см.} \infty 7 \text{ см.}$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n = \frac{M_z}{I} + \frac{P}{\omega} = \frac{22897 \cdot 3,5}{117,8} + \frac{1250}{38,48} = 698 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 700 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

\*) См. выше стр. 31.

такъ какъ  $z = \frac{7}{2} = 3,5$  см.;  $I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 117,8$  см.<sup>4</sup>;  $\omega = 38,48$  см.<sup>2</sup>;  
сжимающее распорку усилие  $T_3 = 1250$  клгр.

При нахождении этого сѣченія принято было напряжение =  $700 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$ , какъ для желѣзной части; рассматриваемый же элементъ въ дѣйствительности проектируется изъ стали, для которой допускается \*) напряжение до  $1000 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$ , а для кованной стали— даже до  $1200 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$ ; слѣдовательно принятое сѣченіе,  $d = 7$  см., вполне удовлетворяетъ условіямъ прочности.

Напряжение на смятіе:

$$\frac{4163}{7 \cdot 9} = 66 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Напряжение на срѣзываніе \*\*):

$$\max. t = \frac{4}{3} \cdot \frac{4163}{\pi \cdot r^2} = \frac{4 \cdot 4163}{3 \cdot 3,14 \cdot 7^2} = 37 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Передній шипъ имѣетъ величину опорной реакціи:

$$N_1 = 2689 \text{ кл.} < N;$$

изгибающій моментъ:

$$M = N_1 \cdot \left( \frac{c}{2} + a \right) = N_1 \cdot 5,0 = 13446 \text{ кл. см.} < 22897 \text{ кл. см.}$$

Поэтому, оставляя діаметръ  $d = 7$  см. и для этого шипа, мы найдемъ величины соответственныхъ дѣйствительныхъ напряженій менѣе вышеполученныхъ для задняго шипа.

## § 16. Опорныя подушки.

1) Задній подшипникъ (см. детальныя чертежи, Фиг. 43, Табл. III и Фиг. 50, Табл. V).

Вертикальное давленіе на подшипникъ (Фиг. 24 и 25, Табл. II):

Опорная реакція  $N = 4163$  клгр.

Вертикальная составляющая давленій въ узлѣ  $H \dots B = 4381$  клгр.

Горизонтальная составляющая полного на ферму давленія воды будетъ (Фиг. 10, Табл. II):

$$H = P \cdot \cos \alpha_1 = \frac{3,71 \cdot 3,74}{2} \cdot 1070 \cdot 0,99619 = 7395 \text{ клгр.}$$

\*) Для опорныхъ подушекъ мостовъ допускается на изгибъ отъ 635 до  $760 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$ .

\*\*) См. Л. Д. Проскураковъ. Строит. мех. ч. I, стр. 107.

Нижняя поверхность башмака (подшипника) принятыхъ размѣровъ имѣеть площадь передачи давленія:

$$42 \cdot 16 + \frac{44 + 16}{2} \cdot 14 = 1092 \text{ см.}^2.$$

Давленіе на камень, допуская возможность сдвига фермы и передачи чрезъ опору полного узлового давленія, будетъ:

$$\frac{4381}{1092} = 4,02 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 5 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Подушка прикрѣпляется тремя болтами діаметромъ  $d = 2,5$  см.; общая площадь перерѣзыванія  $= 3 \cdot 4,91 = 14,73 \text{ см.}^2$ . Напряженіе на срѣзываніе болтовъ:

$$t = \frac{7395}{14,73} = 500 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 560 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Выкалываніе задней чулунной стѣнки подшипника ( $R_m = 200 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$ ), считая по окружности шипа, опредѣляетъ толщину стѣнки  $k = \frac{7395}{9 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 200} = 1,7$  см.; считая по двумъ плоскостямъ, толщина стѣнки  $k = \frac{7395}{2 \cdot 8 \cdot 200} = 2,4$  см. Принято  $k = 5$  см. — въ верхней части стѣнки и  $k = 8$  см. — внизу.

Шипъ удерживается чехою, размѣрами  $6 \text{ см.} \times 4 \text{ см.}$ , сѣченіемъ  $\pi \cdot 4,6 = 24 \text{ см.}^2$  и съ моментомъ сопротивленія  $W = \frac{6 \cdot 4^2}{6} = 16 \text{ см.}^3$ .

Изгибающій моментъ:

$$M = \frac{4381}{2} \cdot 5 = 10953 \text{ к.л. см.}$$

Напряженіе при изгибѣ:

$$n = \frac{10953}{16} = 685 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 700 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Напряженіе на срѣзываніе:

$$t = \frac{3}{2} \cdot \frac{4381}{2,24} = 131 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 560 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

2) Передній подшипникъ (см. детальныя чертежи Фиг. 49, Табл. III и Фиг. 49, Табл. V).

Вертикальное давленіе на подшипникъ (Фиг. 24 и 25, Табл. II):  
Опорная реакція  $N_1 = 2689$  к.л.г.

Вертикальная составляющая давленій въ узлѣ  $D...A = 2907$  к.л.г.

Вертикальная проекція усиія, вытягивающаго переднюю стойку, не принимая во вниманіе вліянія вертикальной нагрузки:

$$V'_3 = V_3 \cdot \cos \alpha_1 = 3571 \cdot 0,99619 = 3557 \text{ клгр.}$$

На это послѣднее усиіе и производится расчетъ всѣхъ частей подшипника въ предположеніи возможности сдвига фермы и дѣйствія полного узлового усиія при отсутствіи вертикальной нагрузки.

Скалываніе *верхней чугунной крышки*, считая по двумъ плоскостямъ, опредѣляетъ толщину ея:

$$k_1 = \frac{3557}{2 \cdot 9 \cdot 200} = 0,99 \text{ см.} \dots \text{Принято } k_1 = 5 \text{ см.}$$

Тяга (анкеръ), удерживающаго подшипникъ, повѣряется въ двухъ мѣстахъ (Фиг. 22, Табл. II и Фиг. 41, Табл. III): въ сѣченіи *ab*—для опредѣленія толщины кольца, и въ сѣченіи *cd*—для опредѣленія діаметра анкернаго болта. Имѣемъ:

*Сѣченіе ab* (кольцо).

$$\text{Рабочая площадь: } \omega = 3 \cdot 5 \cdot 2 = 30 \text{ см.}^2$$

$$\text{Напряженіе: } n = \frac{3557}{30} = 119 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 700 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

*Сѣченіе cd* (анкерный болтъ)

$$\text{Рабочая площадь: } \omega = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,5 \text{ см.}^2$$

$$\text{Напряженіе: } n = \frac{3557}{12,5} = 285 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 700 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Чека (*болтъ*), проходящая черезъ кольцо анкера и передающаго усиіе тягъ, имѣетъ  $d = 4$  см.

$$\text{Площадь сѣченія: } \omega = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ см.}^2$$

$$\text{Напряженіе: } n = \frac{3557}{2 \cdot 12,56} = 142 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 560 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Чугунная доска (Фиг. 23, Табл. II).

Предполагая, что давленіе 3557 кл. распределяется по подушкѣ равномерно, найдемъ, что на  $1 \text{ см.}^2$  камня будетъ:

$$n = \frac{3557}{\frac{\pi}{4} \cdot (20 - 8^2)} = \frac{3557}{264} = 13,5 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 20 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Разстояніе точки приложенія равнодѣйствующей для давленія на половину доски отъ центра привѣса (*Hütte*, ч. I, стр. 175):

$$\xi = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} = \frac{4}{3 \cdot 3,14} \cdot \frac{1000 - 64}{100 - 16} = 4,7 \text{ см.}$$

Наибольшій изгибающій моментъ:

$$M_{max} = \frac{3557 \cdot 4,7}{2} = 8359 \text{ кл. см.}$$

Для сѣченія *AB*, находящагося въ разстояніи 4,7 см. отъ оси доски, при принятыхъ размѣрахъ радіусовъ  $R = 10$  см. и  $r = 4$  см., имѣемъ ширину  $a = 17,6$  см.

Соотвѣтственный моментъ сопротивленія, при  $x$  — искомой наименьшей толщинѣ доски, будетъ:

$$W = \frac{ax^2}{6} = \frac{17,6 \cdot x^2}{6} \text{ см.}^3.$$

Для опредѣленія  $x$ , при допускаемомъ напряженіи для чугуна  $R_1 = 250 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$ , имѣемъ:

$$\frac{M}{R_1} \leq W, \text{ или } 8359 \leq \frac{17,6 \cdot x^2}{6} \cdot R_1.$$

Поэтому:

$$x^2 \geq \frac{8359 \cdot 6}{250 \cdot 17,6}; \text{ или } x^2 \geq 11,4$$

Отсюда:  $x \geq 3,3$  см. . . . . Принимаемъ  $x = 3,5$  см.

### § 17. Передній камень (Фиг. 26, Табл. III).

Высота припорожнаго камня (или вообще передняго, верхняго, порога) выбирается въ зависимости отъ высоты лежащихъ другъ на другѣ фермъ; число фермъ, укладываемыхъ на одну изъ уложенныхъ уже, опредѣляется построеніемъ и зависитъ отъ высоты фермы, разстоянія между фермами и угла наклона къ горизонту лежащихъ фермъ. Камень порога долженъ нѣсколько возвышаться, чтобы влекомые рѣвкой наносы проносились съ достаточной скоростью надъ уложенными на флютбетѣ фермами и не засоряли ихъ. Поднятіе порога уменьшаетъ площадь живого сѣченія, а слѣдовательно увеличиваетъ скорость проходящей воды; дальнѣйшее уменьшеніе скорости теченія будетъ наблюдаться уже позади лежащихъ фермъ, гдѣ отложеніе наносовъ никакого затрудненія подъему фермы не окажетъ а также не нарушитъ правильность работы опорныхъ частей оси вращенія.

Устойчивость фермы зависитъ отъ величины вѣса припорожнаго камня фермы и давленія воды на этотъ камень.

При принятыхъ размѣрахъ вѣсъ камня будетъ:

$$(0,60 \cdot 0,58 - 0,30 \cdot 0,28) \cdot 0,50 \cdot 1500 = 198 \text{ пуд.} = 3243 \text{ кл.}$$

Вертикальное давленіе воды по подпорномъ горизонтѣ 1,74 сж. въ верхнемъ бьефѣ и 0,53 сж. въ нижнемъ бьефѣ:

$$\{1,74 \cdot (0,30 - 0,03) + 0,53 \cdot 0,30\} \cdot 0,50 \cdot 593 = 180 \text{ пуд.} = 2948 \text{ клгр.}$$

При отсутствіи нижняго подпора вертикальное давленіе воды:

$$1,74 \cdot (0,30 - 0,03) \cdot 0,50 \cdot 593 = 139,3 \text{ пуд.} = 2282 \text{ клгр.}$$

Коэффициентъ устойчивости камня:

$$\text{I случай: } \eta_1 = \frac{3243 + 2948}{3557^*)} = 1,72.$$

$$\text{II случай: } \eta_2 = \frac{3243 + 2282}{3557} = 1,52.$$

Въ дѣйствительности же устойчивость будетъ больше, такъ какъ въ расчетъ не введено сцѣпленіе растворомъ и дѣйствіе анкеровъ. Анкеръ для камня детально представленъ на Фиг. 40, Табл. III.

### § 18. Положеніе центра тяжести всей фермы.

Опредѣлимъ моменты вѣсовъ всѣхъ отдѣльныхъ частей фермы относительно оси вращенія:

1) передн. стойка $V$ . . . . .	$(4,84 \cdot 2,8, 6) \cdot 2,41 = 83,25 \cdot 2,41 =$	$200,63$	кл.м.
2) задняя стойка $S$ . . . . .	$(5,03 \cdot 8, 6) \cdot 2,41 = 43,26 \cdot 2,41 =$	$104,26$	"
3) верхняя распорка $T_0$ . . . . .	$(1,28 \cdot 8, 6) \cdot 4,81 = 11,01 \cdot 4,81 =$	$52,96$	"
4) распорка $T_1$ . . . . .	$(2,09 \cdot 8, 6) \cdot 2,80 = 17,97 \cdot 2,80 =$	$50,32$	"
5) распорка $T_2$ . . . . .	$(2,66 \cdot 8, 6) \cdot 1,36 = 22,88 \cdot 1,36 =$	$31,12$	"
6) ось вращенія $T_3$ . . . . .	$40,80 \cdot 0 =$	$0$	"
7) раскосъ $D_1$ . . . . .	$(2,77 \cdot 8, 6) \cdot 3,81 = 23,82 \cdot 3,81 =$	$90,75$	"
8) раскосъ $D_2$ . . . . .	$(2,9 \cdot 8, 6) \cdot 2,08 = 24,94 \cdot 2,08 =$	$51,88$	"
9) раскосъ $D_3$ . . . . .	$(3,37 \cdot 2,10, 5) \cdot 0,68 = 70,77 \cdot 0,68 =$	$48,12$	"
10) тавръ у передней стойки $V$ . . . . .	$(4,84 \cdot 9,4) \cdot 2,41 = 45,50 \cdot 2,41 =$	$109,65$	"
11) листы у передней стойки $V$ . . . . .	$92,4 \cdot 2,41 =$	$222,68$	"
12) листы у верхней распорки $T_0$ . . . . .	$9,8 \cdot 4,81 =$	$47,13$	"
13) листъ у раскоса $D_2$ . . . . .	$17,3 \cdot 2,08 =$	$35,98$	"
14) заклепки и прокладки . . . . .	$\frac{3,20 + 2,1,28}{3,20 + 1,28} \cdot \frac{4,81}{3} \cdot 61 = 61 \cdot 2,07 =$	$126,27$	"

Полный моментъ вѣса всѣхъ частей  $M_p = 1171,76$  кл.м.

\*) См. выше, § 16, 2).



Вѣсъ вѣсѣхъ перечисленныхъ выше частей  $P = 564,70$  клгр.

При этомъ подсчетѣ принято, что головки заклепокъ и прокладки, вѣсъ которыхъ 61 кл., распредѣляются равномерно по всей площади фигуры, ограниченной контурами фермы, такъ что ихъ центръ тяжести совпадаетъ съ центромъ тяжести этой трапеціи. Затѣмъ, въ запасъ прочности, отброшено вліяніе опорныхъ частей (наконечниковъ), нѣсколько передвигающихъ центръ тяжести къ оси вращенія.

Разстояніе отъ оси вращенія до центра тяжести всей фермы будетъ:

$$y = \frac{1171,76}{564,70} = 2,08 \text{ метр. *)}$$

§ 19. Уголъ наклоненія къ горизонту уложенныхъ на флютбетѣ фермъ опредѣлится изъ  $\triangle$ -ка  $abc$  (Фиг. 27, Табл. III) такъ:

$$\sin \varphi = \frac{bc}{ac} = \frac{50 \text{ мм.}}{535 \text{ мм.}} = 0,0935.$$

Отсюда:

$$\angle \varphi = 5^{\circ}20'.$$

§ 20. Сопротивленіе фермы изгибу при подниманіи и опусканіи ея. Опредѣлимъ напряженіе въ частяхъ фермы при подъемѣ ея съ флютбета. Въ первый моментъ поднятія ферму можно разсматривать какъ брусъ, свободно лежащій на двухъ опорахъ и подверженный дѣйствию собственнаго вѣса. Опорами являются въ этомъ случаѣ (Фиг. 28, Табл. III) съ одной стороны—подшипники, а съ другой—цѣпь, прикрѣпленная къ верхней части фермы.

Давленія на опоры, при вѣсѣ фермы  $P = 564,7$  клгр., высотѣ фермы  $l = 4,81$  м., разстояніи центра тяжести ея отъ оси вращенія  $y = 2,08$  м., будутъ:

$$A = \frac{564,7 \cdot 2,08}{4,81} = 244,2 \text{ клгр.}$$

$$B = \frac{564,7 \cdot 2,73}{4,81} = 320,5 \text{ клгр.}$$

Если предположить, что вѣсъ фермы по обѣ стороны ея центра тяжести распредѣляется равномерно, то при этихъ условіяхъ нагрузка на погонный метръ будетъ:

$$\text{для лѣвой (по фигурѣ) части: } p_1 = \frac{A}{a}$$

$$\text{для правой части: } \dots \dots p_2 = \frac{B}{b}$$

\*) Въ дѣйствительности, вводя въ подсчетъ вѣсѣ сдѣланныя потомъ измѣненія, оказалось  $y = 1,85$  м., т. е. центръ тяжести фермы находится ближе къ оси вращенія.

Соответственные изгибающие моменты найдемъ:

$$M_1 = A \cdot x - p_1 \cdot \frac{x^2}{2} = A \cdot x - \frac{Ax^2}{2a}$$

$$M_2 = B \cdot y - p_2 \cdot \frac{y^2}{2} = B \cdot y - \frac{By^2}{2b}$$

Для нахождения  $M_{max.}$  надо производныя правыхъ частей этихъ уравнений приравнять нулю и найти  $x$  и  $y$ . Имѣемъ:

$$A - \frac{Ax}{a} = 0 \text{ и } B - \frac{By}{b} = 0,$$

откуда . . . . .  $x = a$  и  $y = b$ .

Такимъ образомъ, максимум  $M$  будетъ подъ центромъ тяжести фермы и величина его опредѣлится:

$$M_{max.} = Aa - \frac{Aa}{2} = \frac{Aa}{2},$$

т. е. въ два раза меньше того момента, каковой получился бы при принятіи груза  $P$  сосредоточеннымъ.

Вообще сосредоточенный грузъ сильнѣе вліяетъ на напряженіе, чѣмъ равная ему нагрузка, расположенная по всей длинѣ бруса. Въ дѣйствительности нагрузка распределяется болѣе или менѣе равномерно, но не такъ, какъ предположено было выше; слѣдовательно можно ожидать, что моментъ получится нѣсколько больше  $M_{max.} = \frac{Aa}{2}$ , найденнаго выше.

Если же взять моментъ отъ сосредоточеннаго груза, который расположенъ почти посрединѣ фермы, то можно съ увѣренностью сказать, что истинный изгибающій моментъ не превзойдетъ его. Итакъ, примемъ:

$$M = Aa = Bb = 66665 \text{ кл. см.}$$

Предположимъ, что при подъемѣ и опусканіи фермы изгибу сопротивляются только стойки, для сѣченія которыхъ мы и возьмемъ моментъ инерціи, не принимая въ расчетъ и тавра, расположеннаго на передней стойкѣ (Фиг. 30, Табл. III).

Имѣемъ:

$$I_{xx} = 3 \cdot 106 + \frac{9,4}{12} \cdot (\overline{10^3} - \overline{8^3}) - 6 \cdot 1,8 \cdot 0,8 \cdot 3,6^2 = 688 \text{ см.}^4$$

$$W = \frac{I}{z_0} = \frac{688}{5} = 137,6 \text{ см.}^3$$

Напряженіе:

$$n = \frac{M \cdot z_0}{I} = \frac{66665 \cdot 5}{688} = \frac{M}{W} = \frac{66665}{137,6} = 485 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

При первоначальномъ предположеніи равномернаго распре-  
дѣленія вѣса напряженіе будетъ въ два раза меньше, т. е.  
 $n \approx 243 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$

По всей вѣроятности болѣе близкій къ дѣйствительному мо-  
ментъ получится, если предположить, что нагрузка, распре-  
дѣленная по всей длинѣ, измѣняется по закону прямой (Фиг. 29, Табл. III)  
такъ, что центръ тяжести получаемой площади совпадаетъ съ  
вышенайденнымъ центромъ тяжести фермы. Тогда ординаты  $a$  и  
 $b$  опредѣляются изъ уравненій:

$$1) \frac{a+b}{2} \cdot l = 564,7.$$

$$2) \frac{a+2b}{a+b} \cdot \frac{l}{3} = 2,08.$$

Отсюда имѣемъ:

$$\begin{array}{l|l} a+b=235 & a=164,5 \text{ к.л./п.м.} \\ a+2b=235 \cdot 1,3 & b=70,5 \text{ к.л./п.м.} \end{array}$$

Затѣмъ находимъ:

$$A = 244,2 \text{ к.л.}; B = 320,5 \text{ к.л.}; P = 564,7 \text{ к.л.}$$

Изгибающій моментъ для какого либо сѣченія  $m$  будетъ:

$$M = A \cdot x - \frac{b \cdot x^2}{2} - \frac{(a-b) \cdot x^3}{6 \cdot l}$$

Находимъ  $M_{max.}$ ; послѣдовательно получаемъ:

$$\frac{dM}{dx} = A - bx - \frac{x^2(a-b)}{2l} = 0;$$

$$x^2 \cdot \frac{94}{9,62} + 70,5 \cdot x - 244,2 = 0;$$

$$9,77x^2 + 70,5x - 244,2 = 0;$$

наконецъ:

$$x = \frac{-70,5 \pm 120,5}{19,54}$$

По смыслу задачи подходитъ только одно рѣшеніе:

$$x = \frac{120,5 - 70,5}{19,54} = 2,56 \text{ м.}$$

Поэтому:

$$M_{max.} = Ax - \frac{bx^2}{2} - \frac{(a-b)x^3}{6 \cdot l} = 33921 \text{ к.л. см.}$$

Слѣдовательно, напряженіе въ этомъ случаѣ будетъ:

$$n = \frac{33921 \cdot 5}{688} = 247 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$



Такимъ образомъ, сравнивая три найденныя величины напряженій, имѣемъ для даннаго случая:

$$485 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} > 247 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} > 243 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Можно ожидать, что истинное напряженіе ближе всего къ  $247 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$

§ 21. Дополнительные напряженія въ частяхъ фермы при подниманіи ея могутъ быть вызваны, если на уложенную на флютбетъ ферму попадетъ какой либо тяжелый предметъ, или ее занесетъ пескомъ. Найдемъ, какова можетъ быть дополнительная нагрузка, чтобы полное напряженіе матеріала въ частяхъ фермы не превзошло допускаемаго.

Выше \*) было найдено, что при поднятіи и опусканіи фермы она испытываетъ напряженіе, близкое къ  $n = 247 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$ . Предполагая, для упрощенія, а также для запаса прочности, что вся искомая дополнительная нагрузка  $Q$  сосредоточена въ центрѣ тяжести фермы, найдемъ (Фиг. 28, Табл. III):

$$700 - 247 = 453 = \frac{M}{W} = \frac{Q \cdot 2,73 \cdot 2,08}{4,81 \cdot 137,6}$$

гдѣ  $W = 137,6 \text{ см.}^3$  — моментъ сопротивленія сѣченія фермы, принимая во вниманіе только работу стоекъ (см. выше стр. 40).

Отсюда: 
$$Q = \frac{453 \cdot 4,81 \cdot 137,6}{2,73 \cdot 2,08} = 528 \text{ к.л.} \approx 33 \text{ пуд.}$$

При допущеніи въ этомъ исключительномъ случаѣ напряженія въ  $800 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$  будемъ имѣть:

$$Q = 642 \text{ к.л., т. е. } 40 \text{ пуд.}$$

Въ случаѣ занесенія фермы пескомъ трудно представить, чтобы послѣдній сосредоточился, какъ было выше предположено, въ центрѣ тяжести фермы. Если же наносы, опускаясь или задерживаясь уложенной фермой, распределяются по ней болѣе или менѣе равномерно, то возможный допускаемый общій вѣсъ ихъ можно считать раза въ два \*) болѣе вышенайденнаго, т. е. около 80 пуд.; это соотвѣтствуетъ приблизительно 0,10 кб. саж. песка.

Много вѣроятнѣе такого скопленія песка слѣдуетъ считать возможность нанесенія на ферму карчей во время весенняго половодья; тогда запасъ напряженія въ подобномъ случаѣ можно считать на грузъ около 40 пуд.

\*) См. выше § 20.

§ 22. Возможныя напряженія въ частяхъ фермъ уложенныхъ на флютбетъ. Во время разборки плотины при опусканіи фермъ на флютбетъ можетъ оказаться у основанія одной изъ уложенныхъ фермъ какой либо посторонній предметъ (камень, карча и т. п.). Возвышаясь хотя бы очень немного надъ поверхностью уже уложенной фермы, этотъ предметъ помѣшаетъ слѣдующей фермѣ лечь правильно всею своею плоскостью на предыдущую. Опускаемая ферма, опираясь на это возвышеніе, будетъ (Фиг. 31, Табл. III) имѣть довольно значительную свѣшивающуюся верхнюю свою часть. Слѣдующія вновь укладываемыя фермы будутъ опираться другъ на друга своими верхними концами такимъ образомъ, что все давленіе отъ нихъ будетъ передаваться на нижнюю подпертую камнемъ ферму. Последняя подъ давленіемъ остальныхъ фермъ будетъ изгибаться. Свѣшивающуюся часть *ac* можно разсматривать какъ балку, закрѣпленную однимъ концомъ и нагруженную собственнымъ вѣсомъ этой части фермы и давленіемъ фермъ, укладываемыхся на неподпертую часть. Опредѣлимъ для разсматриваемаго случая напряженіе матеріала фермы.

Изъ чертежа видно, какія погрѣшности сдѣланы въ принятомъ подсчетѣ вслѣдствіе наклоненія, и притомъ различнаго, всѣхъ укладываемыхъ въ этомъ случаѣ фермъ къ горизонту. Но точный расчетъ былъ бы значительно сложнѣе и повидимому далъ бы бѣдшіе, но едва ли сильно отличающіеся отъ полученныхъ приближенныхъ результаты, хотя бы потому, что камень все таки не очень высокъ.

Вѣсъ части фермы *ab*:... $P_1 = 244,2$  клгр. (см. выше § 20, Фиг. 28, Табл. III).

$$\text{Вѣсъ части фермы } bc: \dots P_2 = \frac{320,5 \cdot 1,01}{2,08} = 156 \text{ клгр.}$$

Изгибающій моментъ отъ собственнаго вѣса первой фермы:

$$m_1 = 244,2 \cdot \left( \frac{2,73}{2} + 1,01 \right) + 156 \cdot \frac{1,01}{2} = 659,50 \text{ кл. м.}$$

Изгибающій моментъ отъ давленія второй фермы:

$$m_2 = 244,2 \cdot (4,81 - 2 \cdot 1,07) = 244,2 \cdot 2,67 = 651,48 \text{ кл. м.}$$

Изгибающій моментъ отъ давленія третьей фермы:

$$m_2 = 244,2 \cdot \frac{4,81 - 1,07}{4,81} \cdot (4,81 - 2 \cdot 1,07) = 244,2 \cdot 2,67 \cdot 0,8 = \\ = m_2 \cdot 0,8 \text{ кл. м.}$$

Изгибающій моментъ отъ давленія четвертой фермы:

$$m_4 = 244,2 \cdot \left( \frac{4,81 - 1,07}{4,81} \right)^2 \cdot 2,67 = m_2 \cdot 0,8^2 \text{ кл. м.}$$

Слѣдовательно, изгибающій моментъ отъ давленія  $n$  — й фермы:

$$m_n = m_2 \cdot \overline{0,8^{(n-2)}} \text{ кл. м.}$$

Такимъ образомъ, сумма моментовъ для  $n$  фермъ будетъ:

$$M = \Sigma m = 659,50 + 651,48 \cdot (1 + 0,8 + \overline{0,8^2} + \dots + \overline{0,8^{(n-2)}}) \text{ кл. м.}$$

Выраженіе въ скобкахъ есть геометрическая прогрессія, въ которой первый членъ  $a = 1$  и знаменатель прогрессіи  $q = 0,8$ . При числѣ членовъ  $n = \infty$ , сумма членовъ этой прогрессіи будетъ:

$$S = \frac{a}{1 - q} = \frac{1}{1 - 0,8} = \frac{1}{0,2} = 5.$$

Тогда полный изгибающій моментъ:

$$M = 659,50 + 651,48 \cdot 5 = 3916,90 \text{ кл. м.}$$

Моментъ сопротивленія передней и задней стоекъ (см. выше, §§ 20 и 21) будетъ:

$$W = \frac{J}{z_0} = \frac{688}{5} = 137,6 \overline{\text{см.}^3}.$$

Возможное напряженіе:

$$n = \frac{3916900}{137,6} = 2847 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Какъ извѣстно, допускаемое напряженіе для литого желѣза не должно превосходить  $1200 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$  \*), а наивысшій предѣлъ временнаго сопротивленія =  $450 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$  \*\*). Слѣдовательно, вышенайденное напряженіе въ разсматриваемомъ случаѣ показываетъ, что ферма если и не лопнетъ, то можетъ погнуться. Поэтому при разборкѣ плотины и укладкѣ фермъ должно быть обращено особенное вниманіе на состояніе флутбета.

§ 23. Усиліе необходимое для подъема фермъ. Для подъема каждой отдѣльной фермы, независимо отъ остальныхъ, потребовалась бы цѣпь длиною (Фиг. 32, Табл. III):

$$l = \sqrt{4,81^2 + 5,88^2} = 7,60 \text{ м.}$$

На верхній конецъ фермы передается усиліе \*\*\*)  $Q = 244,2 + R$ , гдѣ  $R$  — вѣсъ цѣпи, захватовъ и т. п. Въ общемъ  $Q$  можно считать не болѣе 300 кл. Для запаса будемъ считать, что дополнительный вѣсъ приложенъ также въ поднимаемомъ концѣ.

\*) См. *Е. О. Патонъ*. Данные для проектированія. Москва 1902 г.

\*\*) *Ело-жв.* Желѣзные мосты Т. I. Москва 1903 г.

\*\*\*) См. выше § 20.

Для опредѣленія необходимаго подъемнаго усилія  $P$  возьмемъ моментъ силъ относительно точки  $O$ :

$$P \cdot \overline{OB} = Q \cdot \overline{OA}; \text{ или } P \cdot \overline{OB} = 300 \cdot 4,81$$

Изъ подобныхъ  $\triangle$  — въ  $ABO$  и  $ACD$  имѣемъ:

$$\frac{\overline{OB}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{CD}}{\overline{AD}}; \text{ или: } \frac{\overline{OB}}{4,81} = \frac{4,81}{7,60}, \text{ откуда: } \overline{OB} = 3,04 \text{ м.}$$

Слѣдовательно:

$$P = \frac{300 \cdot 4,81}{3,04} = 475 \text{ клгр.}$$

Это—наибольшая величина подъемнаго усилія, каковое по мѣрѣ поднятія фермы, будетъ уменьшаться.

Поднятіе фермы по одной удобно въ томъ отношеніи, что потребное для подъема усиліе сравнительно незначительно; неудобство же этого способа подъема заключается въ медленности сборки плотины, а также въ очень длинной цѣпи. Такая цѣпь выходитъ для каждаго малаго пролета въ  $\frac{7,60}{1,07} = 7$  разъ длиннѣ разстоянія между фермами, а слѣдовательно полная длина цѣпи во столько же разъ длиннѣ отверстия всей плотины.

Вслѣдствіе этого сборку и разборку плотины лучше всего производить такимъ образомъ, чтобы одновременно поднимать вѣсколько фермъ.

Числомъ одновременно поднимаемыхъ фермъ необходимо, въ зависимости отъ силы имѣющейся или проектируемой для подъема фермъ лебедки, предварительно задаться и тогда уже построениемъ опредѣлить длину части цѣпи, соединяющей двѣ сосѣднія фермы.

Задаваясь одновременнымъ поднятіемъ двухъ фермъ, для опредѣленія длины цѣпи можно исходить изъ предположенія, чтобы вторая ферма поднималась съ флютбета на половину высоты, когда связанная съ нею первая ферма приметъ вертикальное положеніе.

При одновременномъ поднятіи бѣльшаго числа фермъ можно задаться такой зависимостью въ подъемѣ, чтобы каждая ферма поднималась на половину высоты поднятія связанной съ нею вышележащей фермы.

Наконецъ, произвольно задавшись числомъ поднимаемыхъ фермъ, надо вычертить въ масштабѣ схему расположенія связанныхъ фермъ, затѣмъ описать дуги радіусомъ равнымъ высотѣ фермы принимая за центръ послѣдовательно оси вращенія всѣхъ намѣченныхъ фермъ; касательныя къ каждому двумъ сосѣднимъ дугамъ въ наивысшихъ ихъ точкахъ дадутъ въ суммѣ общую длину цѣпи. Для удобства и правильности въ работѣ, части цѣпи

между каждою парюю одновременно поднимаемыхъ фермъ должны быть въ этомъ случаѣ одинаковыми.

Для плотинъ р. С. Донца, какъ и для плотинъ р. Оки \*) число одновременно поднимаемыхъ фермъ было принято равнымъ шести.

Для этого, какъ опредѣлилось изъ построения (Фиг. 33, Табл. III), оказалось необходимымъ всѣ фермы соединить цѣпью такъ, чтобы длина частей цѣпи, соединяющихъ двѣ сосѣднія фермы, была = 2,10 м.

Лебедка для подъема фермъ помѣщается на одномъ изъ береговыхъ устоевъ; цѣпь же, по мѣрѣ поднятія и установки фермъ, освобождается и движется дальше по уложенному уже мостику плотины.

Послѣдовательное положеніе фермъ во время подъема ихъ, при принятой длинѣ частей цѣпи, показано на фигурѣ 33. При такомъ устройствѣ и расположеніи цѣпи сборка и разборка плотины можетъ производиться весьма скоро.

Величины угловъ  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  и  $\gamma_i$  найдены графически и приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

	$\alpha$	$Sn \alpha$	$\beta$	$Sn \beta$	$\gamma$	$Cs \gamma$
1	80	0,985	94	0,998	$76\frac{1}{2}$	0,233
2	$73\frac{1}{2}$	0,959	99	0,988	64	0,438
3	$67\frac{1}{2}$	0,924	105	0,966	$50\frac{1}{2}$	0,636
4	61	0,875	$108\frac{1}{2}$	0,948	36	0,809
5	55	0,819	$110\frac{1}{2}$	0,937	$19\frac{1}{2}$	0,943
6	50	0,766	—	—	0	1,000

Не трудно видѣть, что полное тяговое усиліе, нужное для подъема 6-ти фермъ, будетъ:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

гдѣ:

$$Q_1 = P \cdot \frac{\cos \gamma_1}{\sin \alpha_1} = 71 \text{ кл.}$$

$$Q_2 = P \cdot \frac{\sin \beta_1 \cdot \cos \gamma_2}{\sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2} = 139 \text{ кл.}$$

$$Q_3 = P \cdot \frac{\sin \beta_1 \cdot \sin \beta_2 \cdot \cos \gamma_3}{\sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sin \alpha_3} = 216 \text{ кл.}$$

\*) Какъ это было принято инж. Г. О. Бугиолицемъ для проекта шлюзованія р. Оки.



$$Q_1 = P \cdot \frac{\text{Sn } \beta_1 \cdot \text{Sn } \beta_2 \cdot \text{Sn } \beta_3 \cdot \text{Cos } \gamma_4}{\text{Sn } \alpha_1 \cdot \text{Sn } \alpha_2 \cdot \text{Sn } \alpha_3 \cdot \text{Sn } \alpha_4} = 303 \text{ кл.}$$

$$Q_5 = P \cdot \frac{\text{Sn } \beta_1 \cdot \text{Sn } \beta_2 \cdot \text{Sn } \beta_3 \cdot \text{Sn } \beta_4 \cdot \text{Cos } \gamma_5}{\text{Sn } \alpha_1 \cdot \text{Sn } \alpha_2 \cdot \text{Sn } \alpha_3 \cdot \text{Sn } \alpha_4 \cdot \text{Sn } \alpha_5} = 408 \text{ кл.}$$

$$Q_6 = P \cdot \frac{\text{Sn } \beta_1 \cdot \text{Sn } \beta_2 \cdot \text{Sn } \beta_3 \cdot \text{Sn } \beta_4 \cdot \text{Sn } \beta_5 \cdot \text{Cos } \gamma_6}{\text{Sn } \alpha_1 \cdot \text{Sn } \alpha_2 \cdot \text{Sn } \alpha_3 \cdot \text{Sn } \alpha_4 \cdot \text{Sn } \alpha_5 \cdot \text{Sn } \alpha_6} = 530 \text{ кл.}$$

При подстановкѣ въ эти формулы численныхъ значеній было принято  $P = 300$  кл., хотя въ данномъ случаѣ можно было бы его считать нѣсколько меньше.

Такимъ образомъ, полное усиліе для подъема 6-ти фермъ находимъ:  $Q = \Sigma Q_i = 1667$  килогр. На это усиліе и должна быть рассчитана береговая лебедка.

§ 24. Напряженіе верхней распорки  $T_0$  при подъемѣ и опусканіи фермъ. При такомъ поднятіи фермъ верхняя поперечина каждой фермы изгибается подъ дѣйствіемъ приходящагося на нее тягового усилія. Наибольшее усиліе приходится на долю фермы VI (см. § 23) и для нея будетъ (Фиг. 33, Табл. III):

$$R = 245 : \text{Sn } \alpha_6 = \frac{245}{0,766} = 320 \text{ кл.}$$

Найдемъ напряженіе верхней распорки. Силу  $R$  можно разложить (Фиг. 34, Табл. III) на двѣ составляющія  $P$  и  $Q$ , дѣйствующія въ направленіяхъ наибольшаго и наименьшаго моментовъ инерціи. Величины ихъ получимъ:

$$P = 320 \cdot 0,766 = 245 \text{ кл.}; Q = 320 \cdot 0,643 = 206 \text{ кл.}$$

Дѣйствіе силъ будетъ согласно чертежу (Фиг. 20, Табл. II).

Моменты инерціи сѣченія будутъ:

$$I_{xx}^{netto} = 47 \overline{\text{см.}^4}; e_1 = 2 \text{ см.}, e_2 = 3 \text{ см.}$$

$$I_{yy}^{netto} = 107 - 2 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot \overline{3,6^2} + \frac{3,5}{12} \cdot (\overline{10^3} - \overline{8^3}) = 204 \overline{\text{см.}^4}; e = 5 \text{ см.}$$

Изгибающій моментъ:

$$M = \frac{Pl}{4} = P \cdot \frac{128}{4} = P \cdot 32$$

Дѣйствительное напряженіе:

$$n_{-}^{(b)} = \frac{206 \cdot 2 \cdot 32}{47} + \frac{245 \cdot 5 \cdot 32}{204} = 472 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 700 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

$$n_{+}^{(a)} = \frac{206 \cdot 3 \cdot 32}{47} + \frac{245 \cdot 5 \cdot 32}{204} = 613 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 700 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Слѣдовательно, принятое сѣченіе распорки вполне удовлетворяетъ условіямъ прочности.

§ 25. Щиты Буле и щитки Яничкаго (Фиг. 37 и 38, Табл. III).

При высотѣ щита = 0,80 м. (4 доски по 0,20 м. ширины), наибольшее давленіе воды на пог. метръ самага нижняго щита въ части нижней (третьей) панели (Фиг. 7, Табл. I и Фиг. 10, Табл. II) будетъ:

$$p''' = 3,71 \cdot 0,80 \cdot 1000 = 2968 \text{ кл./п.м.}$$

Разсматривая щитъ, какъ брусъ свободно лежащій на двухъ опорахъ и подверженный равномерно распределенной нагрузкѣ, найдемъ наибольшій изгибающій моментъ.

$$M'''_{\text{max.}} = \frac{p''' l^2}{8} = \frac{2968 \cdot 1,07^2}{8} = 42294 \text{ кл. см.}$$

Для сосновыхъ досокъ необходимый моментъ сопротивленія:

$$W''' = \frac{42294}{60} = 705 \overline{\text{см.}}^3$$

Но  $W = \frac{a \cdot h^2}{6}$ , гдѣ въ данномъ случаѣ  $a = 0,80$  м., искомая же толщина обозначена черезъ  $h$ . Поэтому имѣемъ:

$$\frac{a \cdot (h''')^2}{6} \geq 705.$$

Отсюда:

$$h''' \geq \sqrt{\frac{705 \cdot 6}{80}}, \dots \text{ или } h''' \geq 7,3 \text{ см.}$$

Для щитовъ и щитковъ, находящихся ниже горизонта нижняго бьефа и въ части, соответствующей нижней панели фермы, принято:

$$h = 3 \text{ дм.} = 7,62 \text{ см.} > 7,3 \text{ см.}$$

Для части щитовъ и щитковъ, соответствующей по высотѣ средней панели, найдемъ:

$$p'' = 2,88 \cdot 0,80 \cdot 1000 = 2304 \text{ кл.}$$

$$M''_{\text{max.}} = \frac{2304 \cdot 1,07^2}{8} = 32973 \text{ кл. см.}$$

$$W'' = \frac{32973}{60} = 595 \overline{\text{см.}}^3$$

$$h'' \geq 6,42 \text{ см., } \dots \text{ или } 2\frac{1}{2} \text{ дм.}$$

Тѣ же элементы для щитковъ, расположенныхъ на высотѣ верхней панели фермы, получимъ:

$$p' = 1,44 \cdot 0,8 \cdot 1000 = 1152 \text{ кл.}$$

$$M'_{\text{max.}} = \frac{1152 \cdot 1,07^2}{8} = 16487 \text{ кл. см.}$$

$$W' = \frac{16487}{60} = 275 \overline{\text{см.}}^3$$

$$h_1 \geq 4,54 \text{ см. } (= 1,8), \text{ можно принять } 2 \text{ дм.}$$

§ 26. Двутавръ надъ нишей. Для возможности про-  
веденія рельсъ и досчатого настила съ крайней фермы на тол-  
стый устой, ниша послѣдняго перекрывается задѣланнымъ въ  
стѣну двутавромъ, на который и опираются рельсы и доски.

Разстояніе отъ двутавра до фермы съ одной стороны и до  
стѣнки съ другой—будетъ:

$$l = \frac{1,06 + 0,50}{2} = 0,78^c = 1,66 \text{ м.}$$

Наибольшая нагрузка на двутавръ составитъ изъ:

1) вѣса настила =  $4 \cdot 0,05 \cdot 0,20 \cdot 1,66 \cdot 750$  . . . . . 50 кл.

2) вѣса 2-хъ рельсъ =  $\frac{48 \cdot 1,66}{1,07}$  = . . . . . 75 кл.

3) вѣса лебедки въ невыгоднѣйшемъ положе-

ніи =  $\frac{320 \cdot \left(1,66 - \frac{1,07}{2}\right)}{1,66}$  = . . . . . 218 кл.

4) тягового усилія для щита, вѣса крана и

цѣпи =  $\frac{(150 + 176 + 734) \cdot \left(1,66 - \frac{1,07}{2}\right)}{1,66}$  = . . . . . 725 кл.

5) вѣса 2-хъ человѣкъ = . . . . . 160 кл.

---

Итого . . . . . 1228 кл.

Для подсчета изгибающаго момента сдѣлаемъ слѣдующія пред-  
положенія: вѣсъ настила и людей распредѣляется равномѣрно;  
вѣсъ людей и рельсъ—поровну на каждый рельсъ; тяговое уси-  
ліе—только на передній рельсъ.

Тогда (Фиг. 35, Табл. III) нагрузка расположится такимъ об-  
разомъ:

1) на протяженіи *BC* будетъ равномѣрная нагрузка

$$p = 210 \text{ кл./п. м.};$$

2) въ точкѣ *B* — сосредоточенная =  $(37,5 + 109 + 725) =$   
= 871,5 кл.

и 3) въ точкѣ *C* — сосредоточенная =  $(37,5 + 109) = 146,5$  кл.

Для построенія эпюры моментовъ (Фиг. 36, Табл. III) отъ  
сосредоточенныхъ грузовъ, найдемъ реакцію опоры *A*. Она будетъ:

$$A = \frac{871,5 \cdot 273 + 146,5 \cdot 173}{299} = 880 \text{ кл.}$$

Изгибающіе моменты опредѣляются:

$$M_B = 880 \cdot 26 = 22880 \text{ кл. см.}$$

$$M_C = 880 \cdot 126 - 871,5 \cdot 100 = 23874 \text{ кл. см.}$$

Отъ равномерно распределенной нагрузки соответственно имѣемъ:  
Реакція опоры:

$$A' = \frac{210 \cdot \left(173 + \frac{100}{2}\right)}{299} = 157 \text{ кл.}$$

Изгибающіе моменты въ тѣхъ же точкахъ:

$$M'_B = 157 \cdot 26 = 4082 \text{ кл. см.}$$

$$M'_C = 157 \cdot 126 - 210 \cdot 50 = 9169 \text{ кл.}$$

Между сѣченіями *B* и *C* моментъ отъ равномерной нагрузки измѣняется по уравненію:

$$M'_0 = 157 \cdot (0,26 + x) - \frac{px^2}{2}$$

Для  $\max M'_0$  необходимо:

$$\frac{dM'_0}{dx} = 157 - 210x = 0.$$

Отсюда:

$$x = \frac{157}{210} = 0,75 \text{ м.}$$

Тогда находимъ:

$$\max M'_0 = 157 \cdot (26 + 75) - 210 \cdot 0,75 \cdot \frac{75}{2} = 9951 \text{ кл. см.}$$

Отъ сосредоточенной нагрузки въ этомъ сѣченіи моментъ будетъ:

$$M''_0 = 880 \cdot 101 - 871,5 \cdot 75 = 23528 \text{ кл. см.}$$

Такимъ образомъ, получимъ:

$$M_B^0 = 22880 + 4082 = 26962 \text{ кл. см.}$$

$$M_C^0 = 23874 + 9169 = 33043 \text{ кл. см.}$$

$$M^0 = 23528 + 9951 = 33479 \text{ кл. см.}$$

По наибольшему изъ нихъ, т. е.  $M^0 = 33479$  кл. см., найдемъ необходимый моментъ сопротивленія двутавра:

$$W = \frac{33479}{700} = 48 \overline{\text{см.}^3},$$

Принявъ тавръ № 12 съ моментомъ сопротивленія:  $W = 55,1 \overline{\text{см.}^3}$ , найдемъ дополнительный изгибающій моментъ отъ собственнаго вѣса:

$$M_1 = \frac{pl^2}{8} = \frac{11,1 \cdot 2,99^2}{8} = 1240 \text{ кл. см.}$$

Предположивъ, что въ сѣченіи, отстоящемъ отъ *A* на 101 см.,  $M_1$  измѣнится мало, найдемъ полный моментъ:

$$M = 33479 + 1240 = 34719 \text{ кл. см.}$$

Дѣйствительное напряженіе опредѣлится:

$$n = \frac{34719}{55,1} = 630 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 700 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

§ 27. Исчисленіе вѣса фермы *Поаре* съ наклонной передней гранью для 6-ти шлюзовъ р. С. Донца.

(Геометрическіе элементы въ метрахъ показаны на схемѣ Фиг. 9, Табл. I; размѣры отдѣльных частей см. детали Фиг. 44—48, Табл. IV и V).

№ по порядку.	Наименованіе частей.	С Ѣ Ч Е Н І Е.	Число частей.	Объемъ частей куб. см.	Общая длина метр.	Вѣсъ пог. метра кгр.	Вѣсъ части кгр.	Общій объемъ куб. см.	Общій вѣсъ кгр.
1	Передняя стойка, распорка T <sub>0</sub> и задняя стойка. . . . .	Коробка (швеллеръ) № 8 .	1	—	11,20	8,6	—	—	96,3
2	Передняя стойка .	Швеллеръ № 8. . . . .	1	—	4,75	8,6	—	—	40,8
3	" "	Тавръ 10/5 . . . . .	1	—	4,50	9,4	—	—	42,3
4	" "	2 листа, δ = 1 см.: $\omega = \frac{9 + 13}{2} \cdot 202 + 13 \times$ $\times (0,98 + 1,45) = 4371 \text{ см.}^2$ .	2	4371	—	—	—	8742	68,6
	" "	2 стыковые накладки: $\omega = 13,64 = 832 \text{ см.}^2$ . .	2	832	—	—	—	1664	13,1
5	Распорка T <sub>0</sub> . . .	2 листа, δ = 1 см.: $\omega = 5 \times 125 = 625 \text{ см.}^2$ .	2	625	—	—	—	1250	9,8
6	Раскосъ D <sub>1</sub> . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	2,65	8,6	—	—	22,8
7	Распорка T <sub>1</sub> . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	1,96	8,6	—	—	16,9
8	Раскосъ D <sub>2</sub> . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	2,78	8,6	—	—	23,8
9	" "	Гор. листъ, δ = 1 см.: $\omega = 8,275 = 2200 \text{ см.}^2$ . .	1	2200	—	—	17,3	—	17,3
10	Распорка T <sub>2</sub> . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	2,55	8,6	—	—	21,9
11	Раскосъ D <sub>3</sub> . . .	2 швеллера № 10 . . . . .	2	—	6,00	10,5	—	—	63,0
12	Распорка T <sub>3</sub> . . .	2 швеллера № 8. . . . .	2	—	6,45	8,6	—	—	55,5
	" "	2 листа, δ = 1 см.: $\omega = 17,283 = 4811 \text{ см.}^2$ . .	2	—	5,66	13,09	—	—	74,1
	" "	2 стыковые накладки: $\omega = 17,64 = 1088 \text{ см.}^2$ . .	2	—	1,28	13,09	—	—	16,8

№ по порядку.	Наименованіе частей.	С Ъ Ч Е Н І Е.	Число частей.	Объемъ частей кб. см.	Общая длина метр.	Весь пог. метра кгр.	Весь части кгр.	Общій объемъ кб. см.	Общій весь кгр.
13	Узловыя накладки и вставки, $\delta = 1$ см.	<p align="center"><b>У з е л ь А.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ 17,5. 19 + 1,5. 26 + 13,5. 22 + 5. 21 \} = 386,75 \text{ см.}^2$	2	386,75	—	—	—	773,5	—
		<p align="center"><b>У з е л ь В.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ (5 + 17). 15 + (22 + 17). 13 + (20 + 22). 4,75 + (20 + 5). 3,25 \} = 558,9 \text{ см.}^2$	2	558,9	—	—	—	1117,8	—
		<p align="center"><b>У з е л ь С.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ (26 + 5). 23 + (23 + 26). 9,5 + (23 + 5) \times \times 3,5 \} = 638,25 \text{ см.}^2$	2	638,25	—	—	—	1276,5	—
		<p align="center"><b>У з е л ь Д.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ (12,5 + 48). 4 + (48 + 47). 13 + (47 + 17) \times \times 28 \} = 1634,5 \text{ см.}^2$	2	1634,5	—	—	—	3269,0	—
		<p align="center"><b>У з е л ь Е.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ 15. 5 + 22. 13 + 4,5 \times \times 18 \} = 221 \text{ см.}^2$	2	221,0	—	—	—	442,0	—
		<p align="center"><b>У з е л ь Ф.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ (4,5 + 17). 13,5 + (17 + 12,5). 10,5 + (12,5 + 8,5) \times \times 5,5 \} = 357,75 \text{ см.}^2$	2	357,75	—	—	—	715,5	—
		<p align="center"><b>У з е л ь Г.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ (15,5 + 4,5). 16 + (15,5 + 21). 14 + 21. 4 \} = 457,5 \text{ см.}^2$	2	457,5	—	—	—	915,0	—
		<p align="center"><b>У з е л ь Н.</b></p> $\omega = \frac{1}{2} \cdot \{ (23,5 + 32,5). 4 + (32,5 + 41,5). 33,5 + (41,5 + 12,5) \times \times 9,5 \} = 1608 \text{ см.}^2$	2	1608,0	—	—	—	3216,0	—

№ по порядку.	Наименованіе частей.	С Ъ Ч Е Н І Е.	Число частей.	Объемъ частей	Общая длина	Вѣсъ пог. метра	Вѣсъ части	Общій объемъ	Общій вѣсъ	
			кб. см.	метр.	кгр.	кгр.	кб. см.	кгр.		
14	Подкладки $\delta=1$ см. . . . .	<b>У з е л ь А.</b>								
		$\omega = 24 \times 4,5 = 108 \text{ см.}^2$ .	2	108	—	—	—	216,0	—	
		<b>У з е л ь В.</b>								
		$\omega_1 = 24 \times 4,5 = 108 \text{ см.}^2$ .	2	108	—	—	—	216,0	—	
		$\omega_2 = 36 \times 4,5 = 162 \text{ см.}^2$ .	2	162	—	—	—	324,0	—	
15	Стальные нако- нечники . . . . .	<b>У з е л ь С.</b>								
		$\omega = 28 \times 4,5 = 126 \text{ см.}^2$ .	2	126	—	—	—	252,0	—	
		<b>У з е л ь Е.</b>								
		$\omega = 13 \times 4,5 = 58,5 \text{ см.}^2$ .	2	58,5	—	—	—	117,0	—	
		<b>У з е л ь Н.</b>								
		$\omega = 26 \times 4,5 = 117 \text{ см.}^2$ .	2	117	—	—	—	234,0	—	
		Объемъ: $(8 \times 8 \times 36) + 3,14 \cdot \frac{7^2}{4} \times$ $\times 9 = 2650 \text{ см.}^3$ . . . . .	2	2650	—	—	—	13084,3	102,7	
16	Передній под- шипникъ (всѣ части). . . . .	Объемъ: $\frac{30 + 15}{2} \cdot 30 \cdot 14 + 12,6 \times$ $\times 60 + \frac{3,14}{4} \cdot (20^2 - 4,5^2) \cdot 3,5 \times$ $\times 1,5 - \frac{3,14 \cdot 9^2}{4} \cdot 7 = 11342 \text{ см.}^3$ или вѣсъ: 11342 $\times$ $\times 7,85 = 89,0 \text{ кл.}$ . . . . .	1	—	—	—	—	11342	89,0	
		Объемъ: $\frac{42 + 18}{2} \cdot 22 \cdot 16 - 12 \cdot 8 \times$ $\times 8,5 + 6 \cdot 4 \cdot 25 - 12 \cdot 18 \times$ $\times 10 + 22 \cdot 7 \cdot 16 - 13 \cdot 9 \times$ $\times 10 + 13 \cdot 14 \cdot 4 = 10206 \text{ см.}^3$ или вѣсъ: $10206 \times 7,85 = 80,3$ кгр. . . . .	1	—	—	—	—	10206	80,3	
		Итого въ одной фермѣ ме- талла. . . . .								896,6
		Прибавить на заклепки 3% . . . . .							26,9	
		<b>В с е г о . . . . .</b>							<b>923,5</b> кгр.	

§ 28. Вѣсь малой фермы съ наклонной передней стойкой.

(Геометрическіе элементы въ метрахъ показаны на схемѣ Фиг. 51, Табл. V).

№ по порядку.	Наименованіе частей.	СЪ ЧЕНІЕ.	Число частей.	Объемъ частей	Общая длина метр.	Вѣсь пог. метра кгр.	Вѣсь части кгр.	Общій объемъ куб. см.	Общій вѣсь кгр.
			кб. см.	кб. см.					
1	Передняя стойка, распорка T <sub>0</sub> , задняя стойка. . . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	11,0	8,6	—	—	94,6
2	Передняя стойка.	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	4,45	8,6	—	—	38,2
3	" "	Тавръ 10/3. . . . .	1	—	4,24	9,4	—	—	39,8
4	" "	2 листа $\delta = 1$ см.: $\omega = \frac{13+9}{2} \cdot 189 + 265 \times$ $\times 13 = 5524$ см. <sup>2</sup> . . . . .	2	5524	—	—	43,4	—	86,8
5	Распорка T <sub>0</sub> . . . . .	Какъ у большой фермы . . . . .	—	—	—	—	—	—	9,8
6	Раскосъ D <sub>1</sub> . . . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	2,53	8,6	—	—	21,7
7	Распорка T <sub>1</sub> . . . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	1,89	8,6	—	—	16,3
8	Раскосъ D <sub>2</sub> . . . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	2,63	8,6	—	—	22,6
9	" " . . . . .	Гор. листъ, $\delta = 1$ см.: $\omega = 8 \cdot 260 = 2080$ см. <sup>2</sup> . . . . .	1	2080	—	—	16,3	—	16,3
10	Распорка T <sub>2</sub> . . . . .	Швеллеръ № 8 . . . . .	1	—	2,42	8,6	—	—	20,8
11	Раскосъ D <sub>3</sub> . . . . .	2 швеллера № 10 . . . . .	2	—	6,02	10,5	—	—	63,4
12	Распорка T <sub>3</sub> . . . . .	2 швеллера № 8 . . . . . 2 листа (17×1) см. <sup>2</sup> . . . . .	2	—	6,60	8,6	—	—	56,8
			2	—	4,70	13,09	—	—	61,5
13	Накладки и подкладки. . . . .	Какъ у большой фермы . . . . .	—	—	—	—	—	—	102,7
14	Стальные наконечники . . . . .	" " " " . . . . .	—	—	—	—	—	—	41,6
15	Передній подшипникъ . . . . .	" " " " . . . . .	—	—	—	—	—	—	89,0
16	Задній подшипникъ . . . . .	" " " " . . . . .	—	—	—	—	—	—	80,3
Итого въ одной фермѣ металла . . . . .									862,2
Прибавить на заклепки 3%/о . . . . .									25,8
<b>Всего . . . . .</b>									<b>888</b> кгр.

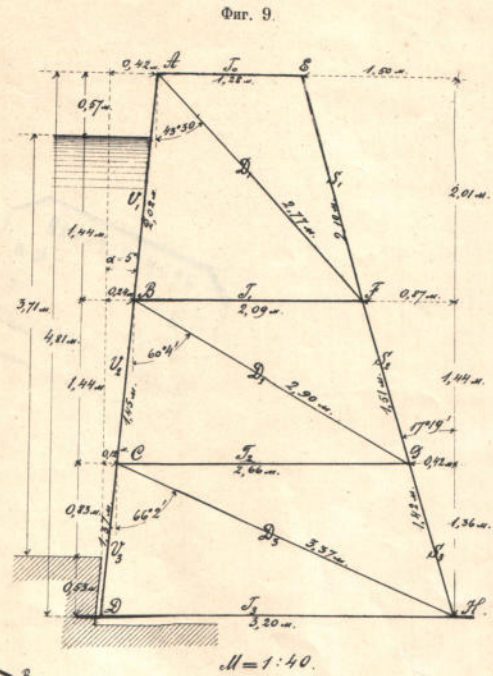
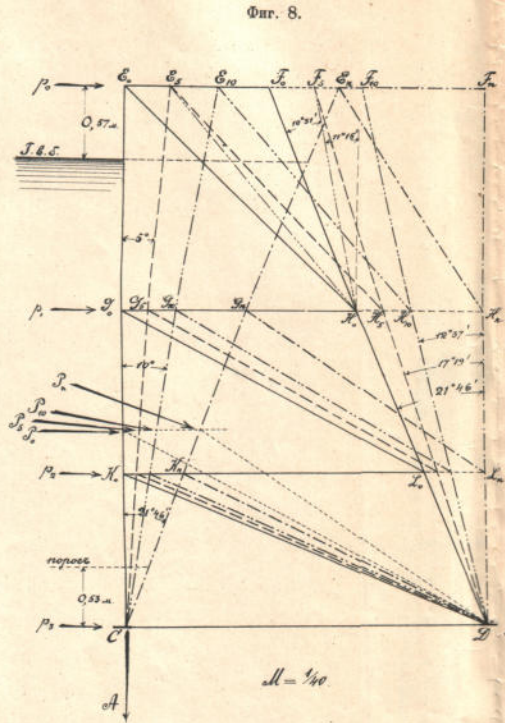
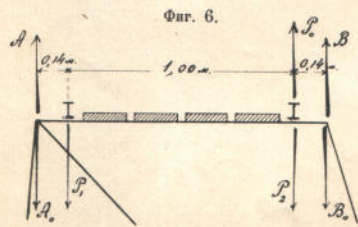
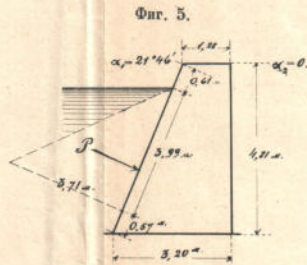
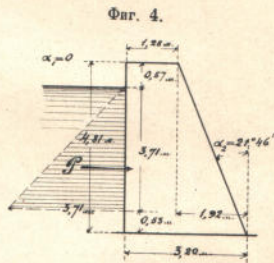
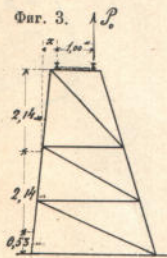
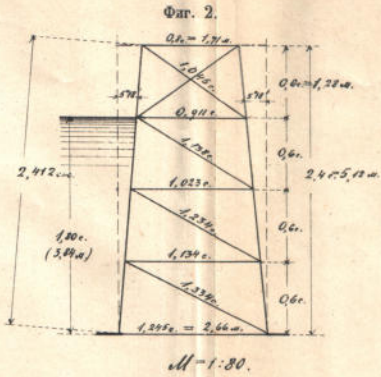
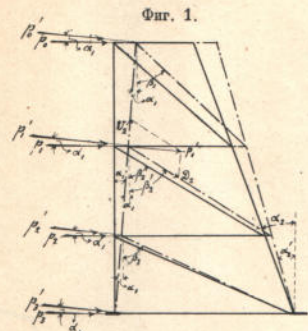


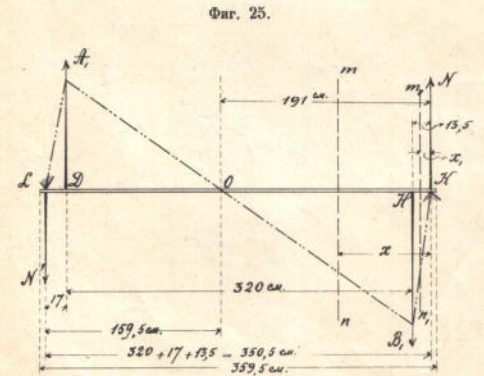
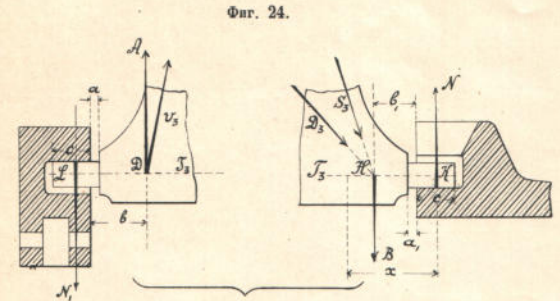
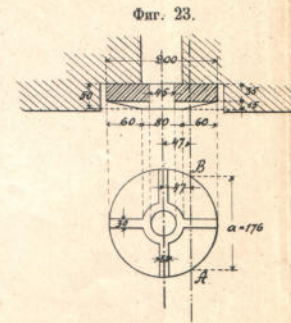
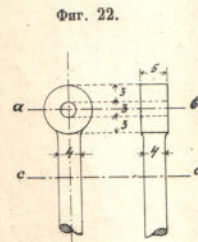
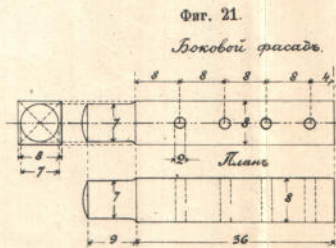
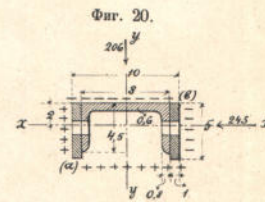
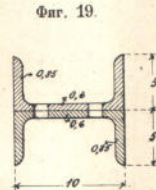
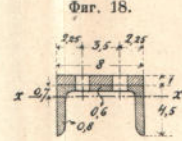
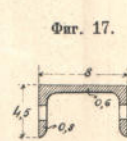
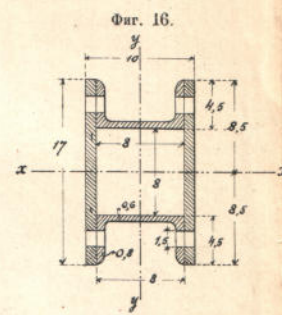
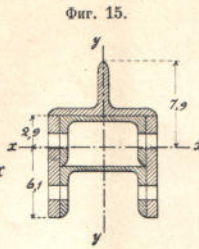
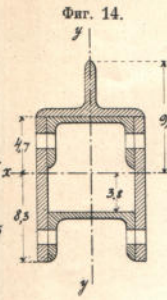
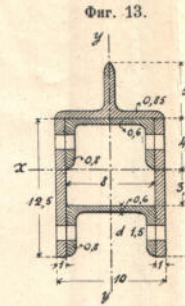
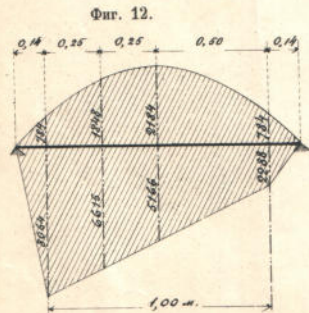
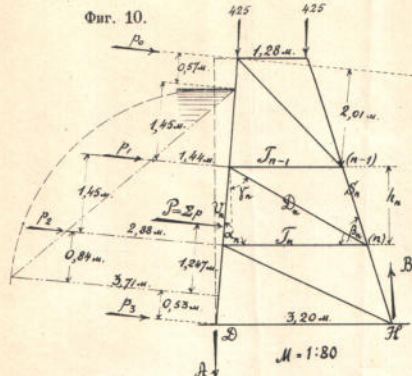
§ 29. Кромѣ того для каждой плотины прибавить:

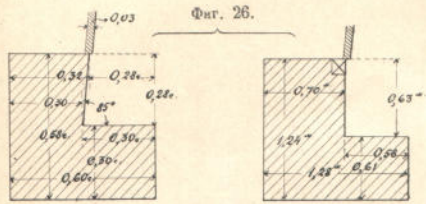
№ по порядку.	Наименованіе частей.	С Ѣ Ч Е Н І Е	Число частей.	Объемъ части кб. см.	Общая длина метр.	Вѣсъ пог. метра кгр.	Вѣсъ части кгр.	Общій объемъ кб. см.	Общій вѣсъ кгр.
<b>А. На одинъ средній пролетъ.</b>									
1	Рельсы . . . . .	Основ. 60 м/м, высот. 75 м/м. . . . .	2	—	штуки. 1,07	9,35	10,00	—	20,00
2	Уголки къ нимъ . . . . .	50 × 50 × 7 м/м. . . . .	4	—	0,07	5,1	0,36	—	1,44
3	Уголки для на- стила . . . . .	60 × 40 × 7 м/м. . . . .	2	—	0,90	5,08	4,57	—	9,14
4	Полосы для связи фермъ (Фиг. 39, Табл. III). . . . .	60 × 8 м/м. . . . . 60 × 8 м/м. . . . .	10	—	0,75	3,74	2,80	—	28,00
			5	—	1,40	3,74	5,24	—	26,20
Итого на 1 средній пролетъ.									84,78
Прибавить 5% на болты. . .									4,22
<b>Итого . . .</b>									<b>89,00</b> кгр.
<b>В. На одинъ крайній пролетъ.</b>									
1	Уголокъ . . . . .	100 × 200 × 16 м/м. . . . .	1	—	4,00	35,4	159,30	—	159,30
2	Двутавръ . . . . .	№ 11. . . . .	1	—	3,20	9,6	30,72	—	30,72
<b>Итого . . .</b>									<b>190,02</b> кгр.

Инженеръ Н. Д. Таркинъ.





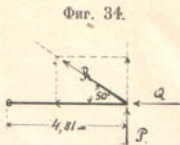




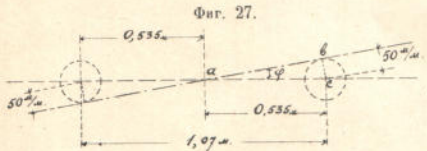
Фиг. 26.



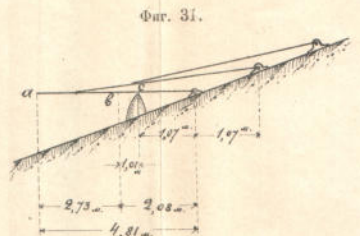
Фиг. 30.



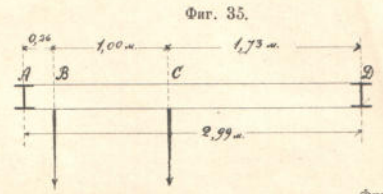
Фиг. 34.



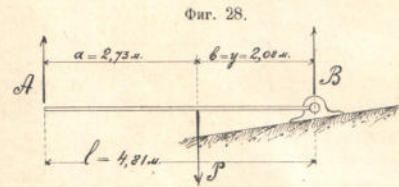
Фиг. 27.



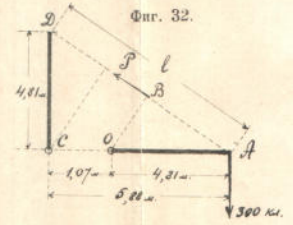
Фиг. 31.



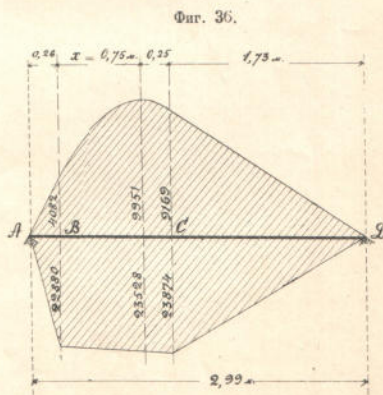
Фиг. 35.



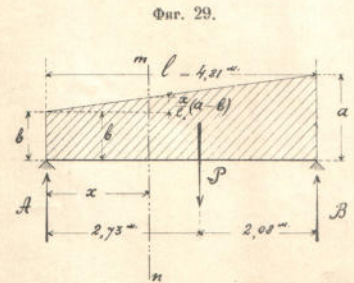
Фиг. 28.



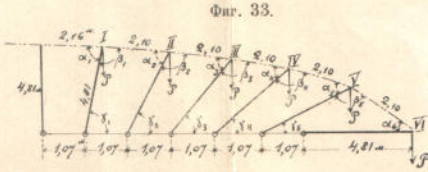
Фиг. 32.



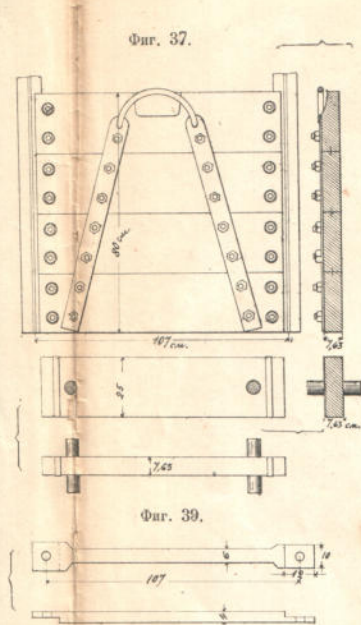
Фиг. 36.



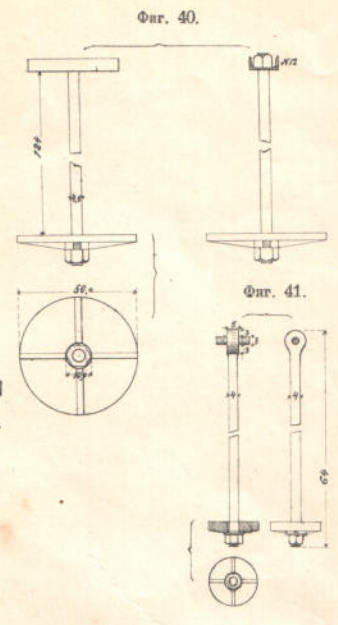
Фиг. 29.



Фиг. 33.



Фиг. 37.



Фиг. 40.

Фиг. 35.

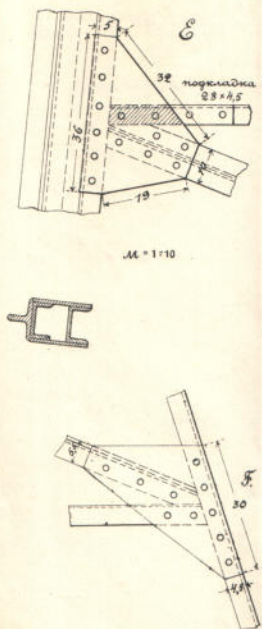
Фиг. 39.

Фиг. 42.

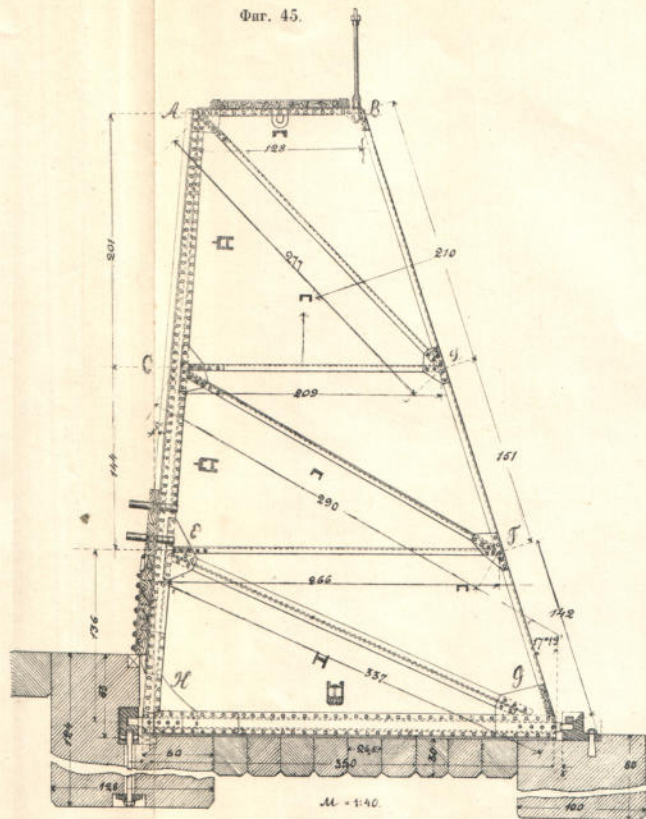
Фиг. 41.

Фиг. 43.

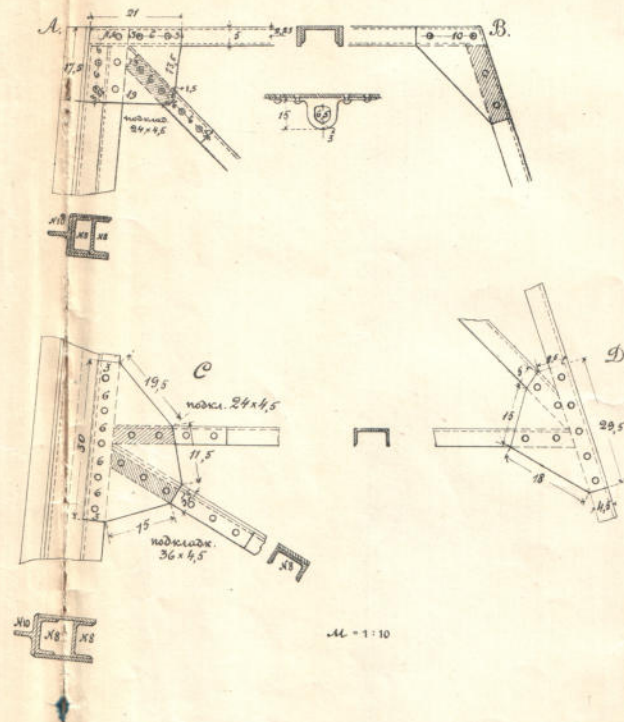
Фиг. 44.



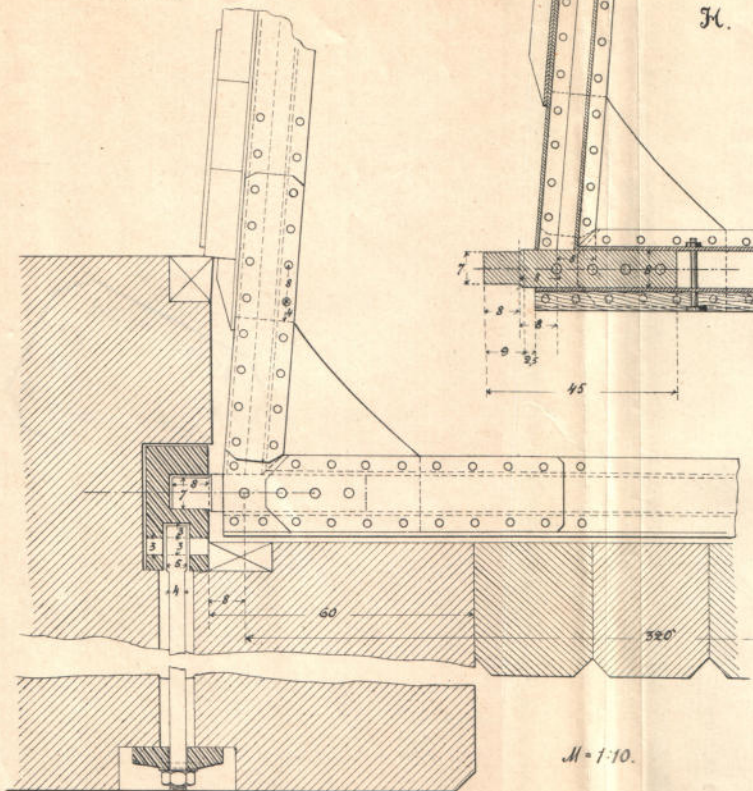
Фиг. 45.



Фиг. 46.

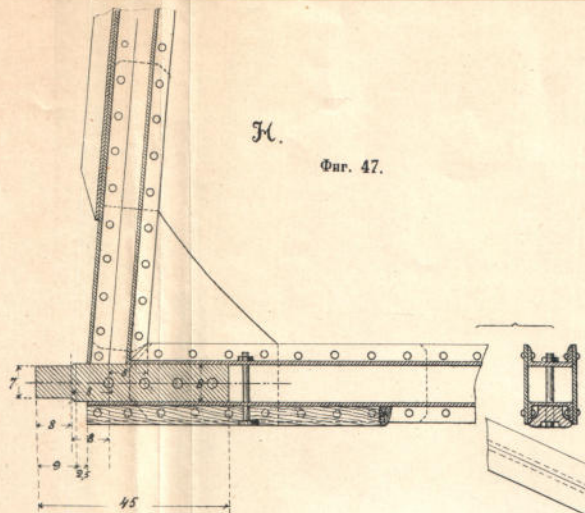


Фиг. 49.

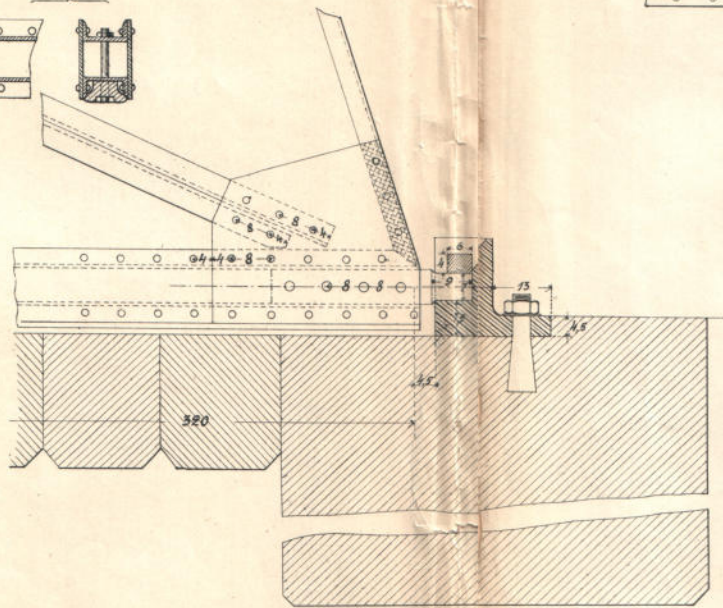


Ж.

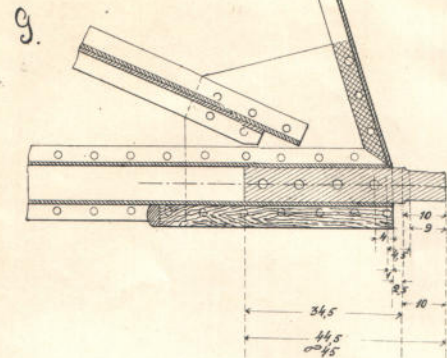
Фиг. 47.



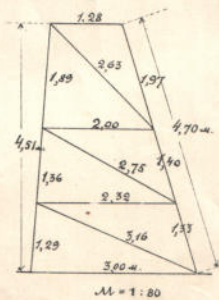
Фиг. 50.



Фиг. 48.



Фиг. 51.



M = 1:10.

M = 1:80.









