

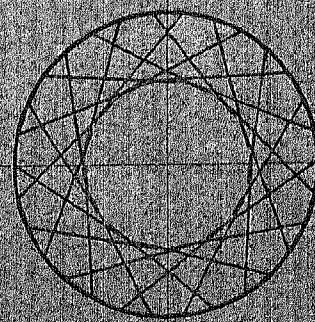
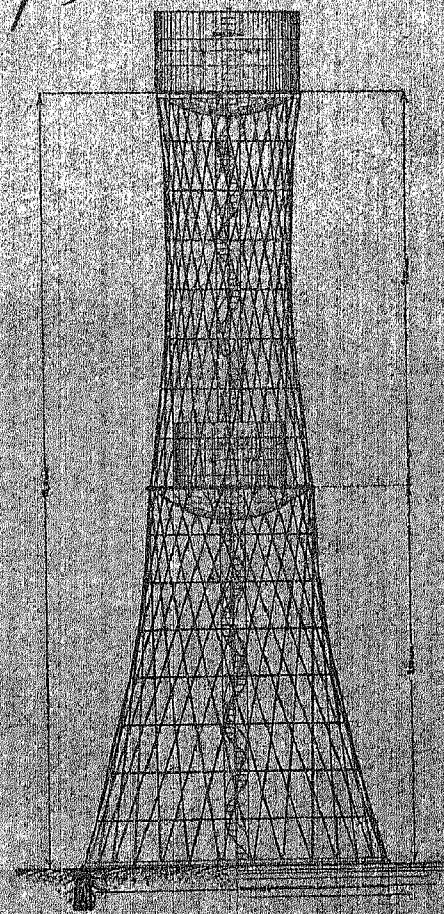
ПРИВЕРЕН

~~21 V 78~~

Желѣзныя водопроводныя башни. Ихъ назначеніе, конструкціи и расчеты.

ОУПРАВЛЕНІЕ
БЕОГРАДСКА
ВОЕННАЯ АКАДЕМІЯ
Р. К. К.

~~0-12-125~~
3317



~~Цена 2 р. 50 к.~~

Инженеръ Дм. Петровъ

Инж. Д.м. ПЕТРОВЪ.

„Организація технической отчетности при
эксплоатаціяхъ водопроводовъ“.

Цѣна 60 коп.

Снялъ у автора: Николаевъ
(Херс. губ.), Никольская, 94.

Желѣзныя
водопроводныя башни.
Ихъ назначеніе,
конетрукціи и расчеты.

Инженеръ Д/м. Петровъ.



Н И К О Л А Е В Ъ.

Электрическая типо-лит. бр. Л. и И. ВЪолодимѣрскихъ, уг. Собор. и Спасской.
1911.

Большинство городских водопроводовъ имѣютъ резервуарную систему подачи воды и вопросъ о рациональныхъ башенныхъ установкахъ теперь, когда строительство водопроводовъ въ городахъ нашего отечества выдвинуто на первый планъ, будетъ несомнѣнно интересовать многихъ инженеровъ.

Что касается весьма распространенныхъ каменныхъ, кирпичныхъ и даже желѣзо-бетонныхъ башенъ, то онѣ достаточно изучены. въ особенности первыя, съ теоретической и практической сторонъ дѣла, чего нельзя сказать о желѣзныхъ сѣтчатыхъ, такъ называемыхъ ажурныхъ башняхъ или вышкахъ, получающихъ только теперь замѣтное и вполне заслуженное распространение въ дѣлѣ болѣе или менѣе крупныхъ водоснабженій городовъ.

Пополняя этотъ пробѣлъ въ литературныхъ трудахъ русскихъ инженеровъ, полагаю, что предлагаемый здѣсь основной матеріалъ о разныхъ башенныхъ установкахъ, накопившійся за послѣднее время моей инженерной дѣятельности, оправдываетъ свое назначеніе, при всестороннихъ разсмотрѣніяхъ всякихъ типовъ башенъ, во время проектированія современныхъ водоснабженій городовъ, посадовъ и мѣстечекъ.



Выражаю глубокую признательность и благодарность Московскому заводу А. В. Бари въ лицѣ г.г. инженеровъ В. Г. Шухова и И. Д. Потемкина, инженеру Общества Судостроительныхъ, Механическихъ и Литейныхъ заводовъ въ Николаевѣ І. М. Каменеву и Управляющему Херсонскимъ водопроводомъ Д. А. Пастухова — А. С. Сергѣеву — за оказанное мнѣ содѣйствіе въ дѣлѣ изученія разныхъ типовъ желѣзныхъ башенныхъ установокъ.

Авторъ.

Г. Николаевъ [Херс. губ.]

13 сентября 1911 г.

О Г Л А В Л Е Н І Е.

	стр.
Желѣзныя водопроводныя башни. Ихъ назначеніе, кон- струкціи и расчеты. (Общій обзоръ).	5
Таблица желѣзныхъ башенныхъ установокъ на рус- скихъ водопроводахъ.	6
Сравнительная таблица стоимості разныхъ башенныхъ установокъ.	11
Фундаменты желѣзныхъ водопроводныхъ башенъ и фундаментныя помѣщенія.	17
Таблица вѣса грунтовъ и угловъ ихъ естественнаго откоса.	19
Остовы желѣзныхъ башенныхъ установокъ.	22
Резервуары башенъ	26
Таблица емкостей уравнивательныхъ резервуаровъ суще- ствующихъ водопроводовъ.	27
Оборудованіе башенъ.	37
Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инде— полесной емкости на 65 тыс. вед. воды и съ водонепроницае- мой фундаментной галлереей.	40
Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ по- лезной емкости на 50 тысячъ ведеръ воды.	52
Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ по- лезной емкости на 22865 ведеръ воды и съ водонепроницае- мой фундаментной камерой.	63
Желѣзная уравнивательная башня съ резервуаромъ по- лезной емкости на 33350 ведеръ воды и съ водонепроницае- мой фундаментной галлереей.	68
Желѣзная уравнивательная башня Херсонскаго водопро- вода съ резервуаромъ полезной емкости на 42500 вед. воды.	81
Желѣзная водонапорная башня Николаевского город- ского водопровода съ резервуаромъ полезной емкости на 50 тысячъ вед. воды.	85
1. Расчетъ башни Николаевского водопровода.	89
2. Оборудованіе башни „ „	94
3. Электрическій указатель измѣненій уровня воды въ резервуарѣ башни.	99

	стр.
4. Водонепроницаемая фундаментная галлерея башни.	101
5. Каменная ограда башни и жилой домъ.	105
6. Постройка башни.	106
7. Основные достоинства башни.	108
Желѣзная уравнительная башня Коломенскаго городского водопровода съ резервуаромъ на 10 тыс. вед. воды. .	112
Желѣзная уравнительная башня завода Б. А. Гивартовскаго въ Москвѣ съ резервуаромъ на 10 тыс. вед. воды.	114
Желѣзная уравнительная башня на заводѣ Торгово-Промыш. Т-ва „П. И. Оловянишниковъ С-я“ въ Ярославлѣ, съ резервуаромъ на 10 тыс. вед. воды.	115
Желѣзная напорная башня на заводѣ Уральско-Волжскаго Металлургическаго О-ва въ Царицынѣ на Волгѣ съ резервуаромъ на 3000 пуд. нефт. остатковъ.	117
Желѣзная уравнительная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 2300 вед. воды на заводѣ Центральнаго Электрическаго О-ва, Москва—Симоново.	118
Водопроводная башня съ резервуаромъ сист. Инце на 9500 вед. воды въ имѣніи „Сторожево“, принадлежащаго Ю. С. Нечаеву-Мальцеву.	119
Желѣзная водонапорная башня въ Макѣевкѣ съ резервуаромъ полезной емкости въ 24 тыс. вед. воды.	119
Желѣзная водопроводная башня въ Гродзецѣ съ резервуаромъ на 8000 вед. воды.	120
Желѣзная башня для водоснабженія ст. „Ярославль“ Сѣверныхъ ж. дор., съ двумя резервуарами, низкаго и высокаго давленія, общей емкости въ 32 куб. саж. или 25265 ведеръ воды.	121
Таблица стоимости каменныхъ желѣзнодорожныхъ башень.	122
Желѣзо-бетонная башня въ гор. Зингентъ (Германія) съ резервуаромъ полезной емкости въ 250 куб. метр. или 20250 ведеръ воды.	126
Желѣзные маяки сист. инж. В. Г. Шухова.	131

Желѣзные водопроводныя башни.

Ихъ назначеніе, конструкціи и расчеты.

Выборъ способа подачи воды въ сѣть трубопроводовъ и подъ опредѣленнымъ давленіемъ является однимъ изъ основныхъ вопросовъ при проектированіи искусственныхъ водоснабженій городовъ, посадовъ и мѣстечекъ. Рѣшеніе этого серьезнаго вопроса, въ смыслѣ цѣлесообразности и наивыгодности будущей эксплуатаціи водопроводовъ, зависитъ отъ многихъ причинъ: отъ топографіи мѣстности, отъ мѣста расположенія источниковъ, количества доставляемой водопроводами воды, діаметровъ трубъ сѣти, отъ величины напора и пр.

Въ нѣкоторыхъ городахъ вода можетъ поступать въ требуемомъ количествѣ непосредственно въ сѣть города самотекомъ, если источники расположены на столь высокой точкѣ мѣстности, что напоръ воды въ сѣти трубъ можетъ оказаться вполне достаточнымъ для полезнаго функціонированія водопровода; въ другихъ городахъ или посадахъ воду приходится нагнетать насосами непосредственно въ сѣть магистралей подъ извѣстнымъ давленіемъ, т. е. приходится давить воду въ сѣть и тѣмъ самымъ сообщать необходимый напоръ; въ прочихъ городахъ воду приходится, *частію* или *полностью*, нагнетать въ специально-устроенные возвышенные водоемы, которые служатъ, какъ для храненія запаса воды, такъ и для образованія требуемаго искусственнаго напорнаго горизонта,—напр. водонапорные и уравнительные водоемы.

Эти водоемы устраиваются на естественныхъ возвышенностяхъ водоснабжаемой мѣстности въ видѣ особыхъ бассейновъ, распола-

гаемых непосредственно на землѣ или въ видѣ желѣзныхъ и желѣзо-бетонныхъ резервуаровъ, устанавливаемыхъ на специальныхъ башняхъ изъ кирпича, камня, желѣзо-бетона, желѣза и др. строительныхъ матеріаловъ.

Наша задача заключается въ разсмотрѣніи водонапорныхъ и уравнительныхъ желѣзныхъ резервуаровъ, расположенныхъ на желѣзныхъ-же башняхъ, которыя почему-то мало распространены у насъ, не смотря на то, что почти 85% всѣхъ существующихъ русскихъ водопроводовъ имѣютъ башенныя установки, или такъ называемую резервуарную систему съ искусственнымъ подъемомъ воды.

Насколько извѣстно, желѣзные водопроводныя башни или вышки разныхъ конструкцій въ настоящее время имѣются въ слѣдующихъ городахъ и мѣстечкахъ:

Таблица желѣзныхъ башенныхъ установокъ на русскихъ водопроводахъ.

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. ре- зервуара въ футахъ	Емкость резервуара въ ведр.	Конструкция остова башни
1	Николаевъ — город- ской водопроводъ	84	50000	Желѣзная сѣтка осто- ва, — гиперболоидъ вращенія, — систе- мы ниж В. Г. Шу- хова.
2	Херсонъ — городской водопроводъ, при- надлежащій Пасту- хову	42	42500	Желѣзные устои изъ вертикальн. фермъ, перевязанные гори- зонтальными коль- цами изъ углового желѣза и скрѣп- ленные вѣтровыми связями.

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. ре- зервуара въ футахъ	Емкость резервуара въ ведр.	Конструкція остова башни
3	Армавиръ — водопро- водъ	42	10000	6 чугунныхъ колоннъ, связанныхъ между собой скрѣпленіями изъ углового жел.
4	Самара — водопроводъ казеннаго трубоч- ного завода . . .	120	15000	
5	Коломна — водопров. города	120	10000	
6	Ефремовъ — гор. во- дopроводъ	56	10000	
7	Ярославль — водопро- водъ завода Торго- во - Промышленнаго Товарищ. «П. И. Оло- вянишникова С-я»	56	10000	Желѣзная сѣтка осто- ва, — гиперболоидъ вращенія, — систе- мы инж. В. Г. Шу- хова.
8	Москва — водопроводъ винокуреннаго за- вода Б. А. Гивар- товскаго	56	10000	
9	Кокандъ — водопров. маслобойнаго за- вода Андреевскаго Торгово - Промыш- леннаго Товарище- ства	56	10000	
10	Село Сторожево (Ря- занской г.), водо- проводъ П. С. Не- чаева-Мальцева .	84	9500	

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. ре- зервуара въ футахъ	Емкость резервуара въ ведр.	Конструкція остова башни
11	Царицынъ на Волгѣ. Уральско-Волжское Металлургическое Общество	50	3000 п. н. о.	Желѣзная сѣтка осто- ва, — гиперболоидъ вращенія, — систе- мы инж. В. Г. Шу- хова.
12	Москва—Симоново, — водопроводъ заво- да Центрального Электрическаго Об- щества	82	2300	
13	Любимовскій Постъ (Екатеринославск. губ.) Донецкій со- довый заводъ «Лю- бимовъ, Сольва и К ^о »	72	2250	
14	Андижанъ — водопро- водъ Товарищест- ва «В. Алексѣевъ»	42	1000	
15	Гродзецъ, водопроводъ на территории ко- пей Гродзецкаго Общ. Коней Угля и Промышленныхъ заводовъ въ Гродзь- цѣ	73,5	8000	Башня устроена изъ листового желѣза, безъ всякихъ внут- реннихъ скрѣпле- ній, въ формѣ уста- новленныхъ другъ на друга конусовъ.

Изъ этихъ 15 желѣзныхъ башенъ разныхъ типовъ, самой боль-
шой по емкости резервуара — 50 тыс ведеръ — является гиперболои-
дальная, ажурная башня Николаевского городского водопровода,
затѣмъ башня съ простымъ рѣшетчатымъ остовомъ водопровода го-
рода Херсона; большей-же частью преобладаютъ башни съ резер-
вуаромъ въ 10 тысячъ ведеръ

Практика водопроводнаго дѣла послѣднихъ двадцати лѣтъ, за каковое время главнымъ образомъ построены вышенперечисленные башни съ желѣзнымъ остовомъ—заслуженно отмѣтила ихъ, какъ наиболѣе дешевыя, удобныя для скорой сборки и ремонта, прочныя при своей легкости, гигиеничныя и заслуживающія интереса даже и съ эстетической точки зрѣнія. Особенно удовлетворяютъ всѣмъ перечисленнымъ требованіямъ башни, съ гинерболоидальнымъ сѣтчатымъ остовомъ, системы извѣстнаго инженера В. Г. Шухова, изготовляемыя Московскимъ заводомъ инженера А. В. Бари.

Если основываться теперь на практическихъ данныхъ эксплуатируемыхъ желѣзныхъ башенъ и принять во вниманіе даже башни съ наибольшимъ существующимъ резервуаромъ въ 50 тыс. ведеръ, то можемъ убѣдиться, что онѣ могутъ получить большое распространеніе именно теперь, въ виду надвигающагося строительства водопроводовъ во многихъ русскихъ городахъ средней населенности.

По предлагаемой практической зависимости, для русскихъ городовъ, между полезной емкостью водонапорнаго резервуара и среднимъ потребленіемъ въ городѣ водопроводной воды, можемъ опредѣлить предѣлы расчетной населенности городовъ, для каковыхъ необходимы резервуары емкостью въ 50 тысячъ ведеръ. Дѣйствительно:

$$V=0,30. Q.$$

$$Q=n. P_1 \text{—для города безъ канализаціи.}$$

$$Q=2. n. P_2 \text{—для города съ канализаціей.}$$

Здѣсь: V — полезная емкость водонапорнаго резервуара въ ведрахъ.

Q — средний суточный разборъ воды изъ водопровода въ ведрахъ.

P_1 и P_2 — расчетное число жителей города, т. е. число жителей съ приростомъ за 15—20 лѣтъ отъ начала дѣйствія водопровода: (по форм. сложи. процентовъ).

n — средний наибольшій разборъ воды въ сутки однимъ жителемъ.

Рѣшая систему уравненій—находимъ:

а) для города безъ канализаціи $V=0,30. n$. P_1 или

$$P_1 = \frac{V}{0,30. n}$$

б) для города съ канализаціей $P_2 = \frac{V}{0,60. n}$

Подставляя въ окончательныя формулы разсматриваемую полезную емкость резервуара въ 50 тысячъ ведеръ и вмѣсто n — его значеніе, равное для русскихъ городовъ 1,5—2 вед., имѣемъ въ округленныхъ цифрахъ:

P_1 —отъ 84000 до 112000 челов.

P_2 —отъ 42000 до 56000 челов.

На основаніи этихъ подсчетовъ видимъ, что при принятыхъ условіяхъ водонапорныя башни съ резервуаромъ полезной емкости въ 50 тысячъ ведеръ могутъ обслуживать русскіе города отъ расчетнымъ населеніемъ отъ 42 до 112 тысячъ человѣкъ. Подобные города, главнымъ образомъ въ настоящее время озабочены сооруженіемъ искусственныхъ водоснабженій, а слѣдовательно, не вдаваясь въ разсмотрѣніе ихъ мѣстныхъ условій, можно съ увѣренностью утверждать, что распространенію желѣзныхъ башенъ, даже съ резервуарами разсматриваемой емкости, въ ближайшемъ будущемъ достаточно обезпечено. Что касается желѣзныхъ башенъ съ резервуарами въ 10—15 тысячъ ведеръ, то ихъ возможно примѣнять, вслѣдствіе прочности и дешевизны—на водопроводахъ желѣзнодорожныхъ станцій, или въ качествѣ контръ-резервуаровъ на городскихъ водопроводахъ.

Останавливаясь на большихъ башняхъ съ существующими резервуарами указанной емкости, можемъ подтвердить, что заводы могутъ, безъ ущерба для принятыхъ конструкцій сѣтчатыхъ оснований башенъ, устранять ихъ съ резервуарами достигающими емкости до 100 тысячъ ведеръ и болѣе, при соблюденіи статическихъ и практическихъ требованій ихъ прочности и устойчивости. При полученіи, по расчету, резервуара емкостью свыше 100 тысячъ ведеръ, лучше всего обосновывать водоснабженіе съ контръ-резервуаромъ, т. е. съ водонапорнымъ резервуаромъ въ началѣ питанія сѣти и вторымъ резервуаромъ, въ концѣ сѣти.

Рѣшеніе этого вопроса можетъ зависѣть и отъ другихъ причинъ, какъ-то: отъ топографіи мѣстности, системы сѣти магистраль-

лей и пр., а потому въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ—его необходимо обосновывать на наивыгодности устройства водоснабженія

Кромѣ того, чтобы не дѣлать одного резервуара слишкомъ большой емкости, возможно пользоваться сдваиваніемъ резервуаровъ, т. е. устанавливать, на двухъ рядомъ и отдѣльно стоящихъ башняхъ, по резервуару меньшей емкости. Послѣдній случай башенныхъ установокъ имѣетъ за собой большія преимущества, въ смыслѣ ремонта, и въ смыслѣ наивыгоднѣйшаго распредѣленія скоростей воды въ основныхъ магистральныхъ, если резервуары питаютъ ихъ въ разныхъ пунктахъ большого разбора воды.

Изъ дальнѣйшаго описанія и изъ техническихъ расчетовъ отдѣльныхъ конструкций желѣзныхъ башенныхъ установокъ будетъ видно, съ достаточной ясностью, насколько онѣ удовлетворяютъ своему назначенію, при современномъ состояніи водопроводной техники и при климатическихъ условіяхъ холодной Россіи, теперь же коснемся разсмотрѣнія въ общихъ чертахъ ихъ преимуществъ передъ башнями изъ камня или кирпича.

Въ подтвержденіе того, что желѣзныя башни обходятся значительно дешевле каменныхъ или кирпичныхъ — можемъ привести таблицу стоимости нѣкоторыхъ башенъ въ округленныхъ цифрахъ.

Сравнительная таблица стоимости разныхъ башенныхъ установокъ.

Мѣсто установки башни.	Типъ башни.	Высота башни до лна резервуара въ саж.	Емкость резервуара въ ведрахъ	Стоимость въ руб.	Средняя стоимость саж.—вед.
		h	V	P.	$m = \frac{P}{h \cdot V}$
Полтава, гор. водопроводъ.	Каменная башня съ желѣзнымъ резервуаромъ и оборудованиемъ	11,6	28500	25000	0,075
Минскъ, гор. водопроводъ.	Каменная башня съ двумя желѣзн. резервуарами на 17419 вед. и 5216 ведеръ и оборудованиемъ	9,25	22635	20000	0,082

Мѣсто уста- новки башни.	Типъ башни.	Высота башни до для резер- вуара въ саж.	Емкость резервуара въ ведрахъ	Стоимость въ руб.	Средняя стоимость саж.—вед.
		h	V	P.	$m = \frac{P}{h \cdot V}$
Двинскъ, гор. водопроводъ.	Кирпичная, 6-гранная, съ двумя желѣзными резер- вуарами по 15000 вед. и обо- рудованіемъ—(ср. высота).	6	30000	14500	0,080
Витебскъ, гор. водопроводъ.	Каменная башня съ желѣз- нымъ резервуаромъ и обо- рудованіемъ	6	12000	15000	0,208
Оренбургъ, гор. водопроводъ.	Кирпичная башня съ же- лѣзнымъ резервуаромъ и оборудованіемъ	5,62	100000	(*) 50500	0,088
Рыбинскъ, гор. водопроводъ.	Кирпичная башня съ же- лѣзн. резервуаромъ и съ оборудованіемъ	9	15000	31719	0,234
Москва, город. водопроводъ.	Крестовская башня, кир- пичная, съ оборудованіемъ	14	150000	206373	0,141
Кіевъ, городок. водопроводъ.	1-я Каменная башня съ обо- рудованіемъ.	6,39	13000	16000	0,200
„	2-я „ „	6,58	13000	16000	0,190
„	3-я „ „	8,78	18000	23000	0,146
Херсонъ. Водо- проводъ Юж- ныхъ желѣз- ныхъ дорогъ.	Каменная башня съ резер- вуаромъ и необходимымъ оборудованіемъ	6,25	9475 (12 кв. саж.)	6500	0,110
Копани.—Стан- ція Южныхъ ж. д. водопро- водъ.	„	4,50	6315 (8 кв. с.)	4500	0,158

(*) Согласно утвержденной Думою сметы № 2 по расширенію Оренбургскаго городского водопровода въ 1909 году.

Мѣсто уста- новки башни	Типъ башни.	Высота башни до дна резер- вуара въ саж.	Емкость резервуара въ ведрахъ	Стоимость въ руб.	Средняя стоимость саж. — вел.
		и	V	P.	$m = \frac{P}{h \cdot V}$
Эпигей, (во- допров.) Гер- манія.	Желѣзо-бетонная башня съ резервуаромъ полезной ем- кости въ 250 куб. метр., высота башни до дна резер- вуара—48 метр.	22,5	20250	22000	0,048
Николаевъ, гор. водопро- водъ.	Гиперболоидальная ажур- ная башня спет. В. Г. Шу- хова съ резервуаромъ Ин- це на 50000 ведеръ, съ пол- нымъ оборудованіемъ 32000 руб., а считая жилой домъ для сторожа и огражденіе башни—35638 р. 99 коп. (*)	12	50000	32000	0,053
Самара, водо- проводъ казен- наго трубчат- го завода,	Гиперболоидальная ажур- ная башня спет. В. Г. Шу- хова съ желѣз. резервуа- ромъ и необходимымъ обор.	17,15	15000	18000	0,069
Москва, водо- проводъ завода Гивартов- скаго.	Гиперболоидальная желѣз- ная башня спет. ниж. В. Г. Шухова.	8	10000	5000	0,063
Армавиръ, гор. водопроводъ.	Желѣзная башня на 6 чуг. колоннахъ, связанныхъ скрѣ- пленіями изъ углового же- лѣза, съ резервуаромъ и оборудованіемъ . . .	6	10000	8000	0,133
Херсонъ—во- допроводъ го- рода, принад- лежащій Д. А. Пастухову.	Желѣзная башня изъ вер- тикальных фермъ, пере- вязанныхъ горизонтальны- ми кольцами изъ углового желѣза, съ жел. резервуа- ромъ, оборудованіемъ и съ водоразборной будкой	6	42500	25000	0,098

(*) См. составленный мной „Краткій отчетъ по постройкѣ Николаевска-
го городского водопровода“, выпущенный изъ печати въ 1909 г. стр. 19.

Приведенныя въ этой таблицѣ данныя о каменныхъ, кирпичныхъ, желѣзо-бетонныхъ и желѣзныхъ башняхъ—подобраны съ такимъ расчетомъ, чтобы башни были съ резервуарами разнообразной емкости и разной высоты, такъ какъ большинство кирпичныхъ башенъ средней высоты въ 8 сажень, большей частью давали—среднюю стоимость саж.—ведра, т. е.

$$m = \frac{P}{h \cdot V}$$

отъ 0,085 до 0,10 руб., т. е. выше таковой стоимости для желѣзныхъ башенъ.

Въ нашей таблицѣ величина m измѣняется:

- I. для каменныхъ и кирпичныхъ башенъ отъ 0,075 р. до 0,234 р.
- II. для желѣзо-бетонныхъ башенъ отъ 0,048 р.
- III. для желѣзныхъ башенъ сист. Шухова отъ 0,053 р. до 0,069 р.
- IV. для желѣзныхъ башенъ старыхъ конструкцій отъ 0,098 р. до 0,133 р.

Такимъ образомъ по принятой формулѣ—сравненія, $m = \frac{P}{h \cdot V}$,

желѣзныя башни сист. инж. В. Г. Шухова оказываются дешевле каменныхъ и кирпичныхъ и лишь въ нѣкоторыхъ случаяхъ дороже желѣзо-бетонныхъ.

Кромѣ этого, въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ,—при сооруженіи водопровода, высказанное преимущество желѣзныхъ башенъ передъ прочими типами подтверждается еще болѣе положительно и ясно, такъ какъ сравненіе представляемыхъ проектовъ разныхъ башенныхъ установокъ одному и тому-же водопроводу значительно облегчается, вслѣдствіе одинаковыхъ мѣстныхъ условій и тождественности основныхъ данныхъ, какъ-то: высоты башни, емкости резервуара, оборудованія трубами, сигнализаторами и т. п.

Изъ новыхъ водопроводовъ съ большой желѣзной башней является водопроводъ города Николаева, а потому считаемъ необходимымъ упомянуть насколько рельефно вылился тамъ вопросъ сооруженія водонапорной башни желѣзной конструкціи сист. Шухова, что особенно желательно въ слѣдующемъ отношеніи:

1. Какъ новый водопроводъ, онъ даетъ въ этомъ отношеніи послѣднее сравненіе стоимости разныхъ башенъ, съ послѣдними цѣнами на строительные матеріалы и рабочую силу (*) и

2. Николаевскій городской водопроводъ имѣетъ самую большую желѣзную башню, по емкости своего резервуара.

Еще въ первой половинѣ 1905 года въ Николаевѣ были назначены торги на каменные и кирпичныя работы по устройству предполагаемой тогда каменной водонапорной башни, начатыя съ суммы (приблиз.) 32000 руб. безъ включенія стоимости желѣзнаго клепаннаго резервуара, необходимаго оборудованія трубами, измѣрительными приборами измѣненія уровня воды въ резервуарѣ и сигнализаторовъ. На торгахъ была достигнута наибольшая скидка съ торговой суммы въ 1,5⁰/.

Въ виду малаго числа соревнователей, явившихся на торги, а также вслѣдствіе незначительной скидки, торги были признаны невыгодными для города.

Почти черезъ годъ, послѣ детальной разработки проекта каменной башни, смѣтъ и техническихъ конднцій, были вновь назначены торги съ смѣтной цѣны почти 40 тысячъ руб; причемъ на торгахъ были заявлены соревнователями цѣны отъ 35 до 37 тысячъ рублей.

Къ этому-же времени стали поступать предложенія отъ разныхъ заводовъ на сооруженіе *желѣзной* башни—той-же высоты—въ 12 саж. до дна резервуара, и той-же емкости, въ 50 тысячъ ведеръ, а именно:

I. Проектъ завода Фицнеръ и Гамперъ (въ Сосновицахъ)—со смѣтой—включая фундаментъ, трубы и резервуаръ—на 36000 руб.

II. Проектъ Анонимнаго Общества мѣстныхъ Судостроительныхъ, Механическихъ и Литейныхъ заводовъ—со смѣтой въ 29000 р.

III. Проектъ Московскаго завода А. В. Бари—со смѣтой—въ 25200 руб.

(*) Сооруженіе водопроводной башни на Николаевскомъ городскомъ водопроводѣ происходило въ періодъ политическихъ неурядицъ и забастовокъ 1906 года.

Сравнивая наименьшую стоимость каменной башни по последнимъ торгамъ, а именно 35000 руб. и желѣзной башни, по проекту завода А. В. Бари, въ 25200 руб., городъ Николаевъ остановился на последней.

Кромѣ перечисленныхъ проектовъ, городу Николаеву былъ представленъ мѣстнымъ инженеромъ А. Д. Поддерегинымъ эскизный чертежъ желѣзо-бетонной башни, со смѣтой въ 20260 руб., считая кромѣ башни резервуаръ, емкостью въ 50 тысячъ ведеръ и фундаментъ, но безъ трубъ и измѣрительныхъ приборовъ.

При включеніи въ эту смѣту стоимости необходимыхъ 12 дм. трубъ, задвижекъ, фасонныхъ частей, компенсаторовъ и др.—стоимость желѣзо-бетонной башни была бы не менѣе цѣны, заявленной заводомъ инженера А. В. Бари—на сооруженіе желѣзной башни сист. В. Г. Шухова, каковую гор. Николаевъ вскорѣ построитъ для своего водопровода.

При окончательномъ завершеніи этой большой желѣзной башни, съ дополнительными хозяйственными работами по устройству фундаментной галлерей, каменнаго жилого дома при башнѣ, каменной ограды и пр., ея полная стоимость выразилась въ суммѣ 35638 руб. 99 к., а именно:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Волонаторная желѣзная башня системы инж. В. Г. Шухова съ резервуаромъ Итце, разработка предварительныхъ проектовъ башни и изслѣдованіе надежности грунта подъ ея основаніе | 29165 р. 75 к. |
| 2. Фундаментная водонепроницаемая галлерей и сухой колодезь для водомѣра съ полнымъ оборудованіемъ | 2263 р. 76 к. |
| 3. Каменная ограда башни съ желѣзными воротами и рѣшеткой | 2445 р. 32 к. |
| 4. Каменный жилой домъ для сторожа съ водопроводнымъ отвлѣченіемъ | 1142 р. 75 к. |
| 5. Разныя мелкія работы во дворѣ башни, службы, установка гидрометра въ сторожевомъ домѣ и проч. | 621 р. 41 к. |
| В с е г о | 35638 р. 99 к. |

Сравнивая эту полную стоимость сооружения желѣзной башни съ полнымъ оборудованіемъ—со смѣтной стоимостью утвержденнаго проекта каменной башни, такой-же высоты, но съ резервуаромъ на 30 тысячъ ведеръ воды, въ 55284 р. 89 коп., усматриваемъ, что городъ Николаевъ получилъ экономію, на замѣнѣ каменной башни желѣзной:

55284 р. 89 к.—35638 р. 99 к.=19645 р. 90 к.

И такъ, на основаніи приведенныхъ примѣровъ и таблицы, можно съ увѣренностью сказать, что желѣзныя башни, особенно легкой системы инж. В. Г. Шухова, обходятся значительно дешевле каменныхъ и кирпичныхъ и лишь рѣдко уступаютъ въ этомъ отношеніи желѣзо-бетоннымъ конструкціямъ.

Чтобы болѣе полно описать современныя желѣзныя башенныя установки, ниже приведемъ нѣсколько примѣровъ съ техническими расчетами и съ описаніемъ какъ ихъ конструкцій, такъ и хода производства работъ. Для облегченія выполненія этой программы и для полноты и цѣльности этого труда рассмотримъ главные части желательныхъ башенныхъ установокъ—отдѣльно, а именно:

- 1) фундаменты желѣзныхъ башенъ и фундаментныя помѣщенія,
- 2) остовы (или каркасы) желѣзныхъ башенъ,
- 3) резервуары и
- 4) оборудованіе башенъ.

Фундаменты желѣзныхъ водопроводныхъ башенъ и фундаментныя помѣщенія.

Кромѣ собственнаго полного вѣса всякой желѣзной башни, фундаментъ ея долженъ главнымъ образомъ прочно сопротивляться нагрузкѣ отъ вѣса воды, наполняющей резервуаръ башни и достигаемый нерѣдко нѣсколькихъ десятковъ тысячъ пудовъ. Въ желѣзныхъ ажурныхъ башняхъ, полный вѣсъ ея остова, резервуара и проч. устройства значительно менѣе полного вѣса воды въ резервуарѣ, въ доказательство чего можемъ привести слѣдующій примѣръ:

Вѣсъ всего сооружения желѣзной башни, съ резервуаромъ безъ воды, въ г. Николаевѣ.

$P_0=6025$ пудовъ.

Жел. вод. башни.

Полный вѣсъ воды, поддерживаемый башней въ резервуарѣ=51349 ведеръ или $P=38512$ пудовъ.

Называя коэффициентомъ легкости башни—отношеніе этихъ величинъ, имѣемъ, что онъ для башни гор. Николаева равенъ

$$\mu = \frac{P_0}{P} = \frac{6025}{38512} = 0,156 \text{ или приблиз. } \frac{1}{6}$$

Если-же башня была бы кирпичная той-же высоты до дна резервуара и того-же средняго діаметра, то коэффициентъ легкости былъ-бы не менѣе 2, т. е. вѣсъ самой башни превышалъ-бы вѣсъ воды въ два раза.

Обыкновенно этотъ коэффициентъ для кирпичныхъ и каменныхъ башенныхъ установокъ измѣняется въ предѣлахъ отъ 1,5 до 6.

Столь малый коэффициентъ легкости $\mu=1/6$,—для желѣзной башни Николаевского водопровода,—былъ достигнутъ только благодаря гиперболоидальному сѣтчатому каркасу башни системы инженера В. Г. Шухова; другой типъ сѣтки остова, въ видѣ горизонтально-перевязанныхъ вертикальныхъ пустотѣлыхъ колоннъ, или въ видѣ вертикальныхъ фермъ, не можетъ дать столь малаго коэффициента легкости. На винокуренномъ заводѣ Гинвартовскаго, въ Москвѣ, только что заканчивается постройкой желѣзная гиперболоидальная башня системы инж. В. Г. Шухова, вѣсомъ 1100 пудовъ, съ емкостью резервуара на 10,000 ведеръ. Для нея коэффициентъ легкости $\mu=0,146$.

Такимъ образомъ—желѣзныя башенныя установки, какъ весьма легкія, по сравненію съ кирпичными или каменными, требуютъ болѣе легкаго фундамента, что значительно сокращаетъ строительныя работы и расходы.

Передъ устройствомъ фундамента башни необходимо производить изслѣдованіе грунта, смотря по мѣстнымъ условіямъ, или закладкой шурфа, буровыхъ развѣдочныхъ скважинъ, или производствомъ пробной нагрузки грунта и забивкой пробныхъ свай. Помощью перечисленныхъ способовъ представляется возможность опредѣлить съ точностью какъ характеръ грунта, его напластованія и глубину промерзанія, такъ и способность грунта къ равномерному осѣданію подъ намѣченнымъ сооруженіемъ башни, что опредѣляетъ глубину заложения и систему будущаго фундамента.

Выбранную глубину заложения подошвы фундамента башни опредѣляютъ по форм. Паукера, въ зависимости отъ того условія, чтобы не происходило выщипыванія грунта черезъ подошву, а именно:

$$H = m. h. \operatorname{tg}^4 (45^\circ - 0,5 Q)$$

гдѣ H —глубина заложения фундамента въ саж.

m —коэффициентъ устойчивости, обыкновенно отъ 1,5 до 3.

h —высота столба грунта, производящаго такое-же давленіе на кв. саж. основанія, какъ и сооружаемая башня и

Q —уголъ естественнаго откоса грунта.

Другая формула Ренкина—выражаетъ наибольшій допустимый грузъ на грунтъ, котораго уголъ естественнаго откоса Q и удѣльный вѣсъ (плотность) d —извѣстны,—а именно:

$$P = d. H. \frac{1 + \sin^2 Q}{(1 - \sin Q)^2}$$

Здѣсь P —нагрузка на 1 кв. метръ въ килограммахъ,

H —глубина заложения фундамента въ метрахъ,

d —вѣсъ 1 куб. метра земли.

Таблица среднихъ величинъ d и Q .

Грунты.	d		Q	$\operatorname{tg} Q$
	Вѣсъ 1 куб. метр. въ килогр.	Вѣсъ 1 куб. фута въ пудахъ.		
Сухой глинистый .	1500	2,6	$40^\circ - 46^\circ$	0,84—1,04
Мокрый » .	1900	3,3	$20^\circ - 25^\circ$	0,36—0,47
Сухая глина .	1600	2,8	$40^\circ - 50^\circ$	0,84—1,19
Мокрая » .	1980	3,4	$20^\circ - 25^\circ$	0,36—0,47
Иловатый сырой .	1650	2,9	30°	0,58
Песокъ, гравій сырой	1860	3,2	$25^\circ - 30^\circ$	0,47—0,58
Щебень мокрый .	1600	2,8	$35^\circ - 40^\circ$	0,70—0,84
Вода . . .	1000	1,7	0°	0

Обыкновенно глубина заложения тяжелыхъ башенъ, т. е. каменныхъ и кирпичныхъ—измѣняется въ предѣлахъ отъ 1 саж. до 2 саж., напр.

Рыбинскъ (*)—башня имѣетъ фундаментъ высотой 1,40 саж.
Москва (**)—Крестовскія башни. 1,96 саж.

Желѣзные же башни, какъ наиболѣе легкія, отъ 2 арш. до 8 фут., напр.

Херсонъ—желѣзная башня имѣетъ фундаментъ высотой 2½ ар.

Николаевъ—желѣзная башня—фундаментъ высотой 8 фут.

Самара—желѣзная башня водопровода трубочнаго завода имѣетъ фундаментъ высотой 1 саж. (въ песчаномъ грунтѣ).

На не очень крѣпкихъ грунтахъ—фундаменты башенъ рекомендуются устраивать въ видѣ сплошнаго моцнаго бетоннаго монолита или въ видѣ бетоннаго массива съ заложеніемъ желѣзныхъ балокъ, для предохраненія отъ выпучиванія силою противодѣйствія материка въ менѣе или совсѣмъ незагруженныхъ частяхъ основанія

Давленіе, допускаемое на грунтъ, измѣняется въ зависимости отъ его надежности въ слѣдующихъ предѣлахъ:

Хорошій грунтъ (граній, песокъ плотно слежавшійся)	4,50	килогр. на 1 кв. сан.
Очень плотный материкъ (скала)	24,50	» » » » »
Средній грунтъ (обыкновенная почва не содержащая ключей)	1,25	» » » » »
Влажный мергель, глина .	1,50	» » » » »
Песчаный гравій въ слояхъ ма- лой моцности	2,50	» » » » »

(*) На водопроводѣ въ гор. Рыбинскѣ, водопроводная башня кирпичная, высотой до дна резервуара 9 саж., резервуаръ на 15 тысячъ ведеръ, фундаментъ ея состоитъ изъ бетонной подошвы толщиной 0,30 саж. и булыжной кладки, съ параллельными горизонтальными плоскостями, на цементномъ растворѣ 1:2.

(**) Въ Москвѣ—Крестовскія башни имѣютъ фундаментъ изъ слоя бетона толщиной въ 0,33 саж. и затѣмъ изъ кирпича желѣзняка, сложеннаго на растворѣ: 1 часть порландскаго цемента и 3 части песка. Нагрузка на кирпичную кладку стѣнъ башенъ допущена не болѣе 2,7 пуда на 1 кв. дм.

Что касается болѣе сложныхъ и исключительныхъ фундаментовъ, съ предварительной заготовкой особаго основанія,—ростверка, свайнаго или какого-либо другого, то врядъ-ли инженерамъ строителямъ водоснабженій придется сталкиваться въ жизни съ подобными установками. Въ такихъ случаяхъ, при рыхломъ, содержащемъ воду грунтѣ, при употребленіи свайнаго основанія или ростверка—давленіе возможно допускать не свыше 2 килогр. на 1 кв. сап., а при употребленіи, кромѣ того, бетоннаго слоя не менѣе 60 сант. толщиной—3 килогр. на 1 кв. сан. Во всякомъ случаѣ на фундаменты высокихъ и тяжелыхъ башенныхъ установокъ должно быть обращено самое серьезное вниманіе; только прочное основаніе является залогомъ прочности и устойчивости всего сооруженія. Малѣйшее неравномѣрное осѣданіе фундамента—неминуемо вызоветъ крушеніе всего сооруженія, со всѣми печальными послѣдствіями, какъ это было, напримѣръ, въ Америкѣ въ г. Лексингтонѣ и въ г. Гинкастлѣ, гдѣ произошло крушеніе водонапорныхъ колоннъ.

Кромѣ перечисленныхъ основныхъ условій прочности, каждый фундаментъ башни долженъ быть надлежащимъ образомъ защищенъ отъ подмыва почвенной водой, отъ подмыва водой въ случаѣ образованія течіи въ стыкахъ близь лежащихъ трубъ башни, или даже въ случаѣ неожиданнаго полнаго разрыва какой либо изъ ея трубъ большого діаметра.

Въ случаѣ грунта съ почвенной водой, то послѣднюю удаляютъ помощью устройства снecіального дренажа, а для случаевъ разрыва трубъ башни—лучше всего устраивать особыя фундаментныя камеры или галлерей, съ водонепроницаемыми стѣнками (см. фиг. 18, 19, 22 и 29).

Послѣднія фундаментныя помѣщенія представляютъ возможность, для удобства и постоянного надзора, располагать открытыми отъ засыпки всѣ необходимыя трубы башни, съ соотвѣствующими задвижками и фасонными частями, а также размѣщать въ одномъ мѣстѣ измѣрительные приборы (манометры, водомѣры, гидрометры и пр.).

Въ случаѣ внезапнаго разрыва одной изъ трубъ башни, водонепроницаемая галлерей должна имѣть надлежащее число слив-

ныхъ трубъ для отвода воды въ водостоки, ливнеспуски или коллекторы городской канализаціи, какъ это показано на фиг. 18 и 19.

Въ крайнихъ случаяхъ и для башенъ съ небольшими, но вмѣстимости воды, резервуарами, вмѣсто водонепроницаемыхъ галлерей въ фундаментахъ должны устраиваться для горизонтальныхъ трубъ башни спеціальныя водонепроницаемые каналы (напр. изъ желѣзо-бетона или просто желѣзныя трубы большого діаметра,) въ каковыя пропускаются трубы башни.

Каналы устраиваются съ небольшимъ уклономъ къ главному ревизионному колодцу. По стоку воды изъ этихъ каналовъ возможно судить о течи трубъ. Закладка-же трубъ башни на глухо отнюдь не должна быть допускаема.

Всѣ расходы на устройство водонепроницаемыхъ камеръ и галлерей съ избыткомъ окупаются при эксплуатаціи водопроводовъ, во время даже небольшихъ ремонтныхъ работъ открытой системы башенныхъ трубъ и измѣрительныхъ приборовъ.

Остовы желѣзныхъ башенныхъ установокъ.

Желѣзные остовы водопроводныхъ башенъ бываютъ самыхъ разнообразныхъ конструкцій, каковыя зависятъ главнымъ образомъ отъ высоты башни и отъ емкости поддерживаемаго ею резервуара.

Высоту башни подсчитываютъ, въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, часто выбирая для ея установки наиболѣе возвышенную точку города.

Вода возвышеннаго резервуара должна развивать во всѣхъ пунктахъ городской сѣти, при рациональной эксплуатаціи водопровода, въ концѣ расчетнаго періода, 15—30 лѣтъ, такой свободный напоръ, который былъ-бы равенъ суммѣ слагаемыхъ изъ:

- а) наибольшей высоты дома,
- б) высоты потеряннаго напора при движеніи воды въ домовой сѣти, равной не болѣе 15 футъ водяного столба и
- с) высоты въ 10 футъ водяного столба—для образованія полезной скорости истеченія и на другія вредныя сопротивленія.

Для опредѣленія высоты Н—расположенія резервуара башни составляется цѣлый рядъ уравненій по закону Д. Бернулли, — для

нѣсколькихъ пунктовъ водопроводной сѣти наиболѣе удаленныхъ отъ водонапорной башни и наиболѣе возвышенныхъ, а именно:

$$H = H_0 + \sum h + (h_1 - h_0) \text{ и}$$

изъ полученныхъ величинъ H —выбираютъ наибольшую, которая должна представлять собой начальный напоръ водопроводной сѣти.

Въ этомъ уравненіи:

H —начальный напоръ, выраженный высотой водяного столба, подъ которымъ должна двигаться вода въ начальномъ пунктѣ, т. е. у башни;

H_0 —требуемый свободный напоръ въ разсматриваемомъ удаленномъ пунктѣ сѣти;

$\sum h$ —сумма вредныхъ сопротивленій на пути—отъ башни до разсматриваемаго пункта сѣти;

h_0 —нивеллировочная отмѣтка мѣста расположенія башни и

h_1 —нивеллировочная отмѣтка мѣста расположенія разсматриваемаго пункта сѣти.

Что касается емкости резервуара, то зависимость количества воды въ резервуарѣ отъ разбора ея въ городской сѣти—будетъ разсмотрѣна ниже.

Зная высоту башни и емкость резервуара, выбираютъ типъ ея остова.

Обыкновеннымъ типомъ башни ранѣе служили чугунныя колонны, надлежаще связанныя въ горизонтальныхъ плоскостяхъ. На фундаментъ каждая изъ колоннъ устанавливается своими башмаками или на опорныя чугунныя плиты или на общее чугунное опорное кольцо. Въ верхней части колонны связываются вѣнчающимъ кольцомъ, служащимъ въ то же время базой для резервуара.

Такъ какъ помимо расчета на опрокидываніе отъ силы вѣтра при незаполненномъ водой резервуарѣ, колонны расчитываются и при полной нагрузкѣ на продольный изгибъ по фор. Эйлера или Шварца, то желательно этотъ простой типъ башенной установки употреблять при незначительной высотѣ колоннъ и для небольшихъ водоемовъ. Это обстоятельство подтверждается подсчетомъ на основаніи фор. Эйлера;—дѣйствительно, грузъ, который можетъ выдержать цѣльно-отлитая колонна не сгибаясь—обратно пропорціо-

наменъ квадрату ея свободной длины, а потому быстро уменьшается при возрастаніи этой длины; скрѣпленіе-же массивныхъ колоннъ частыми горизонтальными желѣзными кольцами—слишкомъ дорого.

Подобная башенная установка въ Россіи имѣется на водопроводѣ въ Армавирѣ, гдѣ чугунныя колонны высотой 6 саж. поддерживаютъ резервуаръ емкостью въ 10000 ведеръ.

Болѣе высокія желѣзныя башни съ резервуарами большой емкости устраиваются изъ вертикально-стоящихъ желѣзныхъ фермъ или отдѣльныхъ рѣшетчатыхъ столбовъ, такъ называемыхъ устоевъ.

Въ планѣ фермы башенъ устанавливаются радіально; наружное-же очертаніе плана имѣетъ видъ квадрата или многоугольниковъ. По высотѣ фермы связываются вѣтровыми связями.

Рѣшетчатые-же столбы или устои башенъ располагаются большей частью по кругу.

Существуютъ также башенныя установки, остовы которыхъ собраны изъ ряда желѣзныхъ конусовъ, склепанныхъ изъ котельнаго листового желѣза, безъ всякаго внутренняго устройства, каркаса, и колецъ жесткости, напр. желѣзная башня въ Гродноцѣ, высотой до цилиндрической части резервуара 22,9 метра.

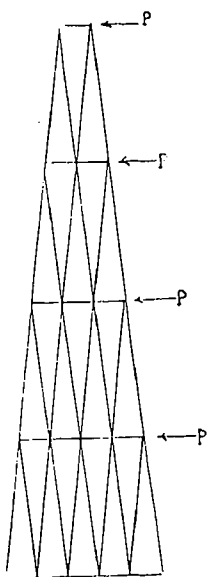
Воѣ вышепоименованныя конструкціи, какъ болѣе сложныя для сборки и болѣе тяжелыя—вытѣсняются въ рѣдкихъ случаяхъ желѣзо-бетонными и чаще всего остроумными гиперболическими башнями системы извѣстнаго инженера В. Г. Шухова.

Главные соображенія, которыя легли въ основу гиперболической сѣтки каркаса башенъ заключаются въ слѣдующемъ:

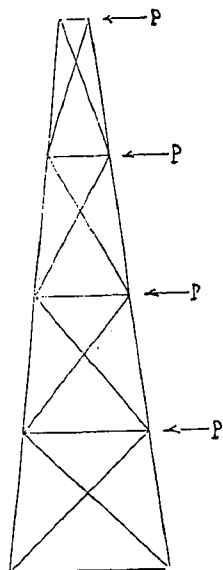
Представимъ себѣ двѣ конструкціи желѣзныхъ формъ, стоящихъ вертикально и подверженныхъ дѣйствию горизонтальныхъ силъ (дѣйствию вѣтра). Простой расчетъ покажетъ, что произведеніе усилій, вызываемыхъ въ частяхъ фермъ на ихъ длину—будетъ для фиг. 1-й,—сѣтчатой, меньше, чѣмъ для фиг. 2-й, слѣдовательно система 1-я должна быть легче системы 2-й.

Подъ вліяніемъ-же вертикальной нагрузки стойки фермъ обѣихъ системъ будутъ напрягаться одинаково. Переходя отъ этихъ фермъ къ соответствующимъ башнямъ—можно сказать, что въ

сѣтчатой гиперболоидальной башни сумма произведеній усилій на длину частей будетъ для сѣтчатой башни меньше, чѣмъ для обыкновенной. Кроме того, въ гиперболоидальныхъ башняхъ усилія въ-тровыхъ связей принимаются тѣми-же элементами башни, которые поддерживаютъ вертикальную нагрузку, а потому количество матеріала, идущее на ихъ устройство будетъ меньше. Практическое осуществленію гиперболоидальныхъ башенъ также весьма просто, такъ какъ главная работа состоитъ въ устройствѣ прямыхъ частей и только изгибаніе горизонтальныхъ колець сѣтки изъ углового желѣза, по кругамъ даннаго діаметра—представляетъ пока дорогую работу. Эти баш-



Фиг. 1-я.



Фиг. 2-я.

ни требуютъ болѣе точной размѣтки дыръ заклепочныхъ соединений ея отдѣльныхъ частей. Хлопотливая размѣтка ихъ вознаграждается чрезвычайно скорой сборкой всей башни на мѣстѣ. Эти основныя преимущества конструкціи башенъ сист. В. Г. Шухова передъ всѣми другими, т. е. наименьшая затрата желѣза, болѣе легкій фундаментъ, скорая сборка и установка башни на мѣсто—дали возможность, московскому заводу инженера А. В. Вари—изготавливающему ихъ, за 16 лѣтъ поставить въ разныхъ мѣстностяхъ 13 башенъ съ резервуарами отъ 1000 до 50 тысячъ ведеръ и два желѣзныхъ маяка, Станиславъ-Аджигіольскихъ, подъ Херсономъ,—одинъ высотой до огня въ 26,8 метровъ, а другой — 68 метровъ.

Далѣе будутъ болѣе подробно разсмотрѣны нѣсколько типовъ желѣзныхъ башенныхъ установокъ разныхъ системъ, которые представляютъ несомнѣнный интересъ, такъ какъ въ русской технической литературѣ нѣтъ совсѣмъ техническихъ описаній подобныхъ устройствъ.

Резервуары бапенъ.

Извѣстно, что полезная емкость водонапорнаго резервуара не должна быть менѣе суммы объемовъ, представляющихъ каждый разность между часовымъ количествомъ воды, доставляемой насосами и количествомъ расходимой, взятыхъ за всѣ часы сутокъ съ разборомъ воды изъ сѣти менѣе средняго часового. Для запаса на случай пожаровъ принимаютъ необходимымъ имѣть въ резервуарѣ дополнительное количество воды, равное такому, какое могутъ одновременно изливать 3 или 6 пожарныхъ гидрантовъ (каждый не менѣе 35 ведеръ въ минуту) въ теченіе одного или двухъ часовъ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условий. На основаніи этихъ соображеній и данныхъ практики существующихъ водоснабженій городовъ — емкость водонапорныхъ резервуаровъ возможно находить изъ слѣдующихъ формулъ:

$$V = \text{отъ } 0,25. Q \text{—до } 0,30. Q$$

гдѣ Q — среднее суточное количество расходимой воды.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда водопроводы расходуютъ большое число ведеръ воды, то во избѣжаніе большихъ затратъ строительнаго капитала на резервуары громадной емкости, устраиваютъ вмѣсто большихъ водонапорныхъ резервуаровъ — уравнительные. Назначеніе уравнительнаго резервуара заключается въ регулированіи напора въ водопроводной сѣти, т. е. въ данномъ случаѣ водонагнетательныя машины давятъ воду непосредственно въ сѣть, въ количествѣ приблизительно равнымъ потребленію и лишь избытокъ подачи передъ разборомъ — выжимается въ уравнительный водоемъ башни, а недостатокъ подачи передъ разборомъ — пополняется имъ (принципъ открытаго большого манометра.) Такъ какъ съ уменьшеніемъ діаметра уравнительнаго резервуара высота колебанія уровня воды въ немъ при одинаковыхъ другихъ условіяхъ будетъ увеличиваться обратно пропорціонально квадрату діаметровъ, то желательно для продуктивности работы насосовъ подачу воды регулировать такимъ образомъ, чтобы колебанія уровня воды въ резервуарѣ были наименьшія. Это достигается съ одной стороны удачно выбранной емкостью резервуара, а съ другой — мощностью насосной станціи. Что касается нормальной мощности станціи, то она должна въ состояніи подавать въ сѣть равномерно требуемое

ежедневное количество воды равное суточному разбору; что-же касается емкости уравнительного резервуара, то ниже приведемъ нѣсколько примѣровъ небольшихъ существующихъ водоемовъ, въ связи съ суточнымъ разборомъ.

Таблица емкостей резервуаровъ существующихъ водопроводовъ.

	Емкость уравни- тельного резервуара	Средній суточ- ный разборъ воды въ 1897 или 1908 гг.	Наибольшій сут. разборъ воды	Наименьшій сут. разборъ воды	$V=m.Q$	$V=n.Q \max$	$V=p.Q \min$
	V .	Q	$Q \max$	$Q \min$			
Херсонъ .	42500 в.	174300	310000	110000	0,24 Q	0,137 Q max	0,386 Q min
Ярославль .	18000 „	134900	230000	130000	0,13 Q	0,080 Q max	0,138 Q min
Грозный .	10000 „	—	120000	—	—	0,080 Q max	—
Калуга .	29000 „	113600	—	—	0,25 Q	—	—
Армавиръ .	10000 „	101400	150000	60000	0,09 Q	0,066 Q max	0,166 Q min
Вятка .	12000 „	64000	—	—	0,20 Q	—	—
Новгородъ .	14227 „	60000	96000	35000	0,24 Q	0,148 Q max	0,400 Q min
Житомиръ .	13000 „	53000	60000	48000	0,24 Q	0,210 Q max	0,270 Q min
Коломна .	10000 „	40000	60000	20000	0,25 Q	0,160 Q max	0,500 Q min
Рыбинскъ .	15000 „	69000	100000	60000	0,22 Q	0,150 Q max	0,250 Q min

Эти данныя взяты:

для г. Херсона на 25 году эксплуатаціи

- » » Ярославля на 28 году »
- » » Грознаго на 4 году »
- » » Калуги на 4 году »
- » » Армавира на 9 году »
- » » Вятки на 10 году »
- » » Новгорода на 10 году »
- » » Житомира на 12 году »
- » » Коломны на 5 году »
- » » Рыбинска на 8 году »

Большинство изъ этихъ городовъ достаточно развила эксплуатацію своихъ водопроводовъ и слѣдовательно данныя о емкости ихъ уравнительныхъ водоемовъ заслуживаютъ вниманія.

Такимъ образомъ для городовъ, съ расчетнымъ населеніемъ до 200 тысячъ человѣкъ—возможно при расчетахъ водопроводовъ

принимать полезную емкость уравнивательных водоемов по слѣд. формулѣ: $V = \text{отъ } 0,20.Q \text{ до } 0,25.Q$

Для водопроводовъ-же большихъ городовъ съ миллионнымъ потребленіемъ воды въ сутки—уравнивательные водоемы возможно устраивать емкостью

$$V = \text{отъ } 0,04.Q \text{ до } 0,05.Q.$$

Кромѣ водонапорныхъ и уравнивательныхъ башенъ весьма полезно, съ экономической точки зрѣнія, устанавливать контръ-резервуары въ противоположномъ отъ водонапорнаго резервуара концѣ сѣти и ближе къ центру наибольшаго разбора воды изъ нея. Обильное питаніе водой обширной сѣти трубъ, съ двухъ отдаленныхъ пунктовъ—увеличиваетъ ея пропускную способность. Объемъ уравнительнаго контръ-резервуара желательно брать не менѣе половины водонапорнаго, т. е.

$$V_{\min} = 0,5. 0,25. Q = 0,125. Q.$$

Конструкціи резервуаровъ бываютъ самыя разнообразныя, съ особыми формами стѣнокъ и днницъ. Раціональной формой резервуара признается несомнѣнно форма цилиндра съ круговой направляющей и отъ резервуаровъ съ прямоугольнымъ днщемъ, вслѣдствіе ничтожнаго сопротивленія стѣнокъ, современные водопроводные инженеры совершенно отказались.

Задаваясь при проектированіи полезнымъ объемомъ резервуара, необходимо стремиться получить его наимыгоднѣйшихъ размѣровъ, т. е. при наименьшей затратѣ желѣза. Для цилиндрическаго резервуара съ плоскимъ днщемъ наимыгоднѣйшіе размѣры определяются слѣдующимъ способомъ (*)

Пусть h и D высота и діаметръ резервуара, тогда смачиваемый периметръ его сѣченія будетъ

$$P = 2. h + D$$

а площадь этого сѣченія

$$F = h. D.$$

Слѣдовательно

$$P = D + \frac{2. F}{D}$$

*) Основные формулы расчета резервуаровъ помѣщаемъ для полноты настоящаго труда.

Дифференцируя это уравненіе, получимъ

$$\partial P = \partial D \frac{2 \cdot F \cdot \partial D}{D^2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial D} = 1 - \frac{2 \cdot F}{D^2}$$

Эту первую производную приравниваемъ нулю и находимъ, что

$$1 - \frac{2 \cdot F}{D^2} = 0$$

$$D^2 = 2 \cdot F = 2 \cdot h \cdot D$$

$$h = \frac{D}{2}$$

Полезный объемъ резервуара будетъ

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{D}{2} = \frac{\pi \cdot D^3}{8}$$

Откуда

$$D = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot V}{\pi}} = 1,36 \cdot \sqrt[3]{V}$$

При этомъ соотношеніи, т. е. діаметръ наилучшаго резервуара долженъ равняться двойной его высотѣ, получается наилучшая форма резервуара и при сферическомъ днищѣ, для котораго принимаютъ радіусъ равнымъ D и, слѣдовательно, стрѣлку равной

$$f = 0,134 \cdot D$$

Что касается опредѣленія прочныхъ размѣровъ толщины стѣнки цилиндрическаго резервуара, то она находится изъ слѣдующихъ основныхъ соображеній.

Разсмотримъ половину (фиг. 3) кольцевой вырѣзки резервуара высотой въ единицу, тогда въ мѣстѣ разрѣза будутъ дѣйствовать растягивающія силы P . Вслѣдствіе давленія воды S и растягивающихъ силъ P_1 , P рассматриваемый полукольцевой вырѣзокъ резервуара будетъ находится въ равновѣсін:

$$S = 2 \cdot r \cdot p.$$

гдѣ r —радіусъ резервуара и

p —давленіе на кв. единицу площади.

Дѣйствительно,

$$S = \int_0^\pi dS \cdot p \cdot \sin \alpha = p \int_0^\pi dS \sin \alpha =$$

$$= p \int_0^{\pi} r \sin \alpha. d\alpha = 2. p. r.$$

Здѣсь dS — длина дуги, соответствующая центральному углу $d\alpha$

Далѣе, если обозначимъ, что

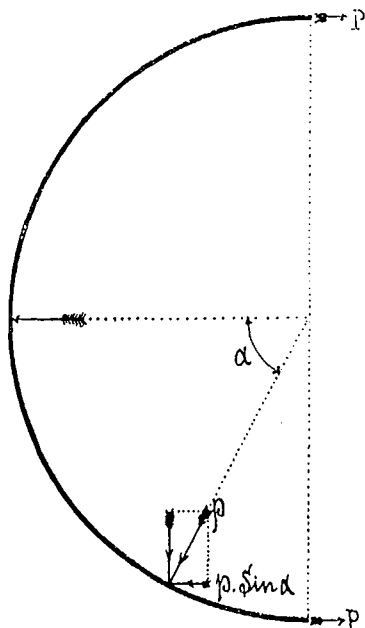
R — будетъ допускаемое на кв. единицу площади разсматриваемаго сѣченія напряженіе матеріала (800—1200 клгр. на 1 кв. сан.) и

δ — толщина стѣнки резервуара, высотой въ единицу, то можемъ написать зависимость

$$S = 2. P = 2. R. \delta. 1. \text{ или}$$

$$2. p. r = 2. R. \delta. 1$$

$$\delta = \frac{p. r.}{R. 1}$$



Фиг. 3.

Подставляя, вмѣсто p —его значеніе

$$p = h. \Delta. 1,$$

(гдѣ h — высота слоя воды отъ поверхности ея до центра тяжести разсматриваемаго сѣченія,

Δ — вѣсъ куб. единицы воды)

получимъ извѣстную формулу для опредѣленія прочной толщины стѣнки резервуара, а именно:

$$\delta = \frac{h. \Delta. 1. r}{R. 1} = \frac{\Delta. h. r.}{R}$$

Прибавляя къ этой расчетной толщинѣ стѣнки на изнашиваніе (ржавчина, очистка бака при окраскахъ, ослабленіе заклепками и пр.) величину δ_1 , равную

отъ 3 до 5 м. м.

Получимъ окончательный видъ формулы

$$\delta = \frac{\Delta. h. r.}{R} + \delta_1$$

Если r, h — въ метрахъ

R — въ килограммахъ на 1 кв. миллиметръ, то формула эта приметъ видъ

$$\delta = \frac{h \cdot r}{R} + (3 \text{ до } 5)$$

Склепываніе листовъ резервуара производится въ нахлестку одноряднымъ или двухряднымъ швомъ, при діаметрѣ заклепки

$$d = \delta + 7 \text{ м. м.}$$

Для одноряднаго шва:

Разстояніе между заклепками

$$t = 3 \cdot d + 5 \text{ м. м.}$$

и разстояніе отъ центра до края листа

$$e = 1,5 \cdot d + 3 \text{ м. м.}$$

Для двухряднаго шва

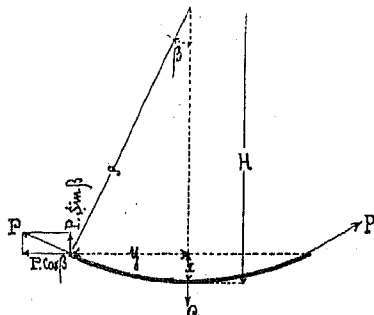
$$t = 4 \cdot d + 8 \text{ м. м.},$$

а разстояніе между рядами

$$e_1 = 1,75 \cdot d$$

Толщину листовъ сферическаго днища резервуара опредѣляемъ на основаніи слѣдующихъ извѣстныхъ соображеній: (фиг. 4).

На отрѣзокъ горизонтальной плоскостью сферическаго днища давить вѣсъ столба воды, равный



Фиг. 4.

$$Q = \Delta \cdot [\pi \cdot y^2 \cdot (H - x) + \frac{1}{3} \pi \cdot x^2 \cdot (3R - x)]$$

$$= \pi \Delta \cdot [y^2 \cdot (H - x) + \frac{1}{3} x^2 (3R - x)]$$

Отъ силы вѣса этого столба воды — въ листахъ вырѣзка сферическаго днища появляются напряженія, сумма вертикальныхъ составляющихъ которыхъ должна равняться дѣйствующимъ внизъ усилямъ, т. е.

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot y \cdot R \cdot \sin \beta$$

Откуда:

$$R = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot y \cdot \sin \beta} = \frac{Q \cdot r}{2 \pi \cdot y^2}$$

или:

$$P = \frac{\Delta \cdot \rho}{2 \cdot y^2} \left[y^2 \cdot (H - x) + \frac{x^2}{3} \cdot (3 \cdot \rho - x) \right]$$

При $x = 0$, и $y = 0$, сила P будетъ наибольшая для самой глубокой точки, а именно

$$P_{\max} = \frac{\Delta \cdot \rho \cdot H}{2}$$

Искомая расчетная толщина листа будетъ

$$\delta_o = \frac{P_{\max}}{R} = \frac{\Delta \cdot \rho \cdot H}{2 R}$$

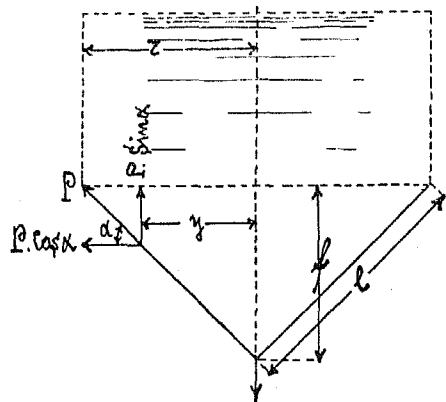
Прибавляя на износъ δ_1 отъ 3—5 м.м.

$$\delta_o = \frac{\Delta \cdot \rho \cdot H}{2 R} + \delta_1$$

$P_{\min}$ — получается при $x = \rho$, т. е. для шаровидного дна, когда и $y = \rho$. Действительно въ этомъ случаѣ.

$$P_{\min} = \frac{\Delta \cdot \rho}{2} \left(H - \frac{\rho}{3} \right)$$

Для конического днища можемъ написать на основаніи предыдущихъ еоображеній, что (фиг. 5)



Фиг. 5.

$$Q = \Delta \cdot [\pi \cdot y^2 \cdot (H - x) + \frac{1}{3} \pi \cdot y^2 \cdot x]$$

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot y \cdot P \cdot \sin \alpha$$

Откуда
$$P = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot y \cdot \sin \alpha} = \frac{\Delta \cdot y}{2 \cdot \sin \alpha} \left(H - \frac{2}{3} x \right)$$

или замѣняя $\sin \alpha$ черезъ $\frac{f}{l}$ получимъ

$$P = \frac{\Delta \cdot l}{2 \cdot f} y \cdot \left(H - \frac{2}{3} x \right)$$

Напряженіе же по кольцу у начала днища найдемъ изъ уравненія $2 \cdot \pi \cdot y \cdot R \cdot \sin \alpha = \pi \cdot y^2 \cdot \Delta \cdot (H - x)$, а именно:

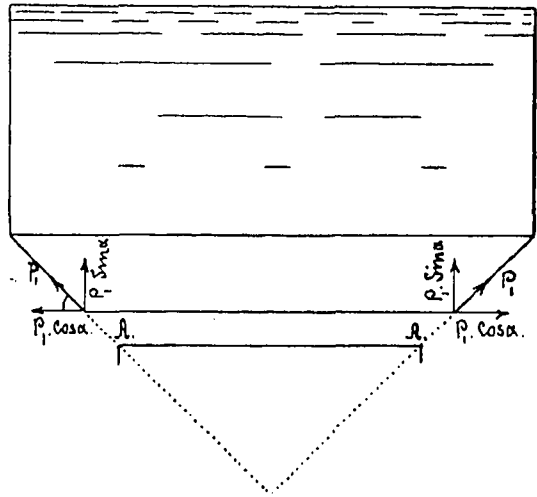
$$K = \frac{\Delta. y. (H - x)}{2 \sin \alpha} = \frac{\Delta. l. y. (H - x)}{2 f.}$$

Напряженія эти въ першинѣ равны 0 и увеличиваются къ онорѣ.

Въ томъ случаѣ, если коническое дно резервуара продолжить до онорѣ А, или опоры (А) приблизить къ першинѣ, то вмѣсто растягивающихъ усилій Р, получатся сжимающія усилія Р₁ (Фиг. 6), величина которыхъ опредѣляется изъ уравненія:

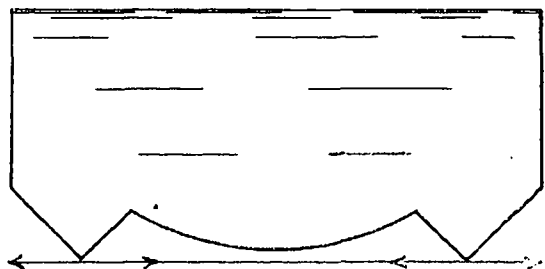
$$2. \pi. y. P_1. \sin \alpha = Q_1$$

гдѣ Q₁—вѣсъ воды въ наружной части резервуара. Величина Р₁—зависитъ также отъ уклона конического днища.



Фиг. 6.

Извѣстный профессор О. Инце (Professor O. Intzé. Aachen) предложилъ свою форму дна (Фиг. 7), при которой, при правильномъ выборѣ наклона коническихъ и сферическихъ плоскостей, въ точкахъ



Фиг. 7.

сѣченія этихъ плоскостей въ опорномъ кольцѣ совершенно уничтожаются силы, дѣйствующія въ горизонтальномъ направленіи (распоръ). Поэтому опорное кольцо передаетъ только вертикально дѣйствующія силы и вслѣдствіе этого можетъ быть изготовлено сравнительно изъ меньшаго количества матеріала.

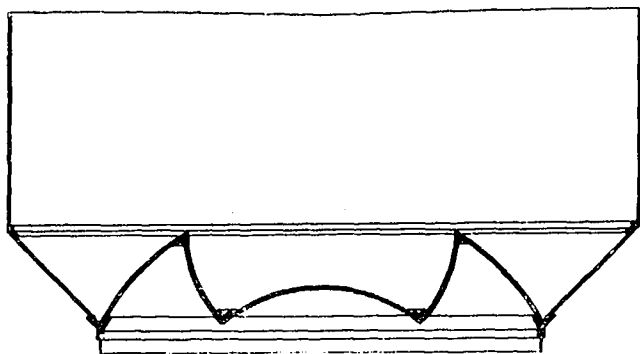
Наполненъ-ли резервуаръ водой или нѣтъ—діаметръ опорнаго кольца не измѣняется, а поэтому и кольцо не измѣняетъ своего положенія. Исходящія изъ опорнаго кольца части днища—наклон-

ныя и открытыя, поэтому резервуаръ доступенъ со всѣхъ сторонъ, для осмотра, окраски, ремонта и проч.

Уголъ, между наклонной частью днища и горизонтальною большей частью дѣлается въ 45° , чтобы части опорнаго ребра резервуара можно было соединить уголковымъ желѣзомъ въ 90° .

Обыкновенный типъ днища сист. Инце, (фиг. 12), при большой емкости резервуара, имѣетъ свои неудобства. Шаровой сегментъ и конусъ занимаютъ слишкомъ много мѣста, и отверстіе разводящей трубы приходится слишкомъ высоко приподнимать отъ самыхъ низкихъ точекъ резервуара, заполненныхъ водой, что уменьшаетъ полезную высоту резервуара и слѣдовательно его полезную емкость.

Для болѣе производительнаго использованія, Инце предложилъ другой типъ днища, изображенный на фиг. 8.

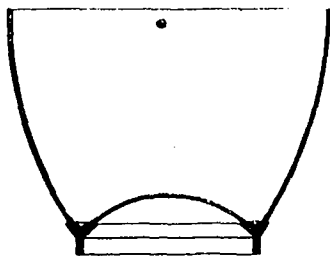


Фиг. 8.

Та часть днища резервуара, изображенного на фиг. 8, которая лежитъ ближе къ вертикальной оси—должна разсматриваться, какъ подвѣшенная къ смежной части дна, болѣе отдаленной отъ оси резервуара.

Послѣ цѣлаго ряда попытокъ въослѣдствіи стремились конструкторы придать резервуарамъ другія формы, какъ напр. на фиг. 9.

Цѣль устройства такого резервуара заключалась главнымъ образомъ въ томъ, чтобы возможно было наиболѣе выгодно использовать пространство опорнаго кольца и наиболѣе удобно устраивать угловые соединенія скрѣпленій стѣнки и днища.



Фиг. 9.

Практика водопроводнаго строительства показала, что обыкновенныя плоскія днища круглыхъ резервуаровъ—нерѣдко требуютъ для своей установки желѣзныхъ балокъ, общимъ нѣсомъ, превышающимъ собственный нѣсъ резервуара.

Въ виду этого, плоскія днища чаще всего устраиваютъ для небольшихъ резервуаровъ—емкостью до 10 тысячъ ведеръ.

Резервуары-же съ сферическимъ, свѣшивающимся, днищемъ при стрѣлкѣ въ 0,134D, въ теченіе многихъ лѣтъ примѣнялись на практикѣ и исполнѣ удовлетворяли всѣмъ требованіямъ, пока не явилась необходимость строить ихъ съ емкостью, превышающей 25 тысячъ ведеръ.

Одинъ изъ недостатковъ такого резервуара заключается въ слѣдующемъ.

Опорное кольцо въ этихъ резервуарахъ находится въ мѣстѣ соединенія вертикальной стѣнки и сферическаго днища, и деформируется,---суживаясь при наполненіи резервуара водою и расширяясь при опораживаніи. При большой емкости—закленки, соединяющія закраины дна съ цилиндрической стѣнкой резервуара—подвергались значительнымъ разрывающимъ усиліямъ, что отражалось на плотности стыковъ. Поэтому для резервуаровъ емкостью свыше 25 тысячъ ведеръ—лучше всего проектировать ихъ или съ очень глубокимъ сферическимъ дномъ, или-же выбрать одинъ изъ типовъ системы профессора Инце.

Прочныя соединенія днищъ резервуаровъ съ желѣзными остовами башенъ указаны на фиг. 18, 19, 22 и 30.

Теперь остается разсмотрѣть условія, при которыхъ резервуары башенъ устанавливаются съ наружными обшивками для согрѣванія воды и безъ обшивокъ. Температура воды, система резервуара и суточный разборъ воды—играютъ главную роль при рѣшеніи этого вопроса.

Воды источниковъ городскихъ водоснабженій раздѣляются по температурѣ на двѣ основныхъ категоріи: рѣчныя и подпочвенныя; первыя—при поступленіи въ водопроводные резервуары башенъ, лѣтомъ достигаютъ температуры въ $+20^{\circ}$ и зимой 0 и $+1^{\circ}$ по Реомюру; вторыя-же, т. е. подпочвенныя, отличаются почти постоянствомъ температуры въ продолженіи всего года. Такъ, напримѣръ,

Полтава	+ 17°	по Цельсію, (артез. вода).
Кіевъ	+ 11°	» » »
Николаевъ	+ 13°	» (подпочв вода).
Рязань	+ 7°	» » »

Естественно, что подпочвенныя воды при поступленіи въ резервуары—зимой, въ большинствѣ случаевъ, не успѣваютъ охладиться до степени замерзанія, чѣмъ рѣчныя.

Кромѣ того, если резервуаръ играетъ роль водонапорнаго, а не уравнительнаго, т. е. вода прежде чѣмъ попасть въ сѣтъ—вначалѣ поступаетъ въ резервуаръ, то всегда возможно зимой подавать воду въ него въ такомъ соотношеніи съ разборомъ ея въ сѣти, что колебанія уровня воды въ резервуарѣ будутъ замѣтно измѣняться каждые полчаса и вода не будетъ успѣвать замерзнуть. Холодныя-же частицы воды будутъ, вслѣдствіе естественной циркуляціи, первыми уходить въ разводящія трубы сѣти, и вмѣсто ея резервуаръ будетъ пополняться болѣе теплою, поднимаемой насосами изъ источниковъ.

Въ уравнительныхъ резервуарахъ достигнуть подобныхъ результатовъ трудно, вслѣдствіе того, что въ нихъ попадаетъ только избытокъ подачи воды передъ разборомъ, что нарушаетъ естественную циркуляцію холодныхъ и теплыхъ частицъ самого резервуара. Слѣдовательно, въ уравнительномъ резервуарѣ, при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, вода замерзнетъ скорѣе, чѣмъ въ водонапорномъ.

Всѣ указанныя соображенія необходимо учитывать при проектированіи башенныхъ установокъ новыхъ водопроводовъ.

Обшивки резервуаровъ большею частью дѣлаютъ въ видѣ павильоновъ—собранныхъ изъ деревяннаго каркаса, обшитаго двумя или тремя рядами досокъ съ прокладкой изъ асфальтоваго толя, при чемъ между стѣнкой обшивки и стѣнкой резервуара должно быть разстояніе не менѣе 13 вершковъ—для свободнаго прохода человѣка.

Иногда деревянные стѣнки павильона обшиваютъ однимъ или нѣсколькими рядами войлока, съ прокладкой хмѣля отъ моли. Войлокъ покрываютъ драпью и оштукатуриваютъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ возможно устраивать особое помѣщеніе для резервуара

башни—въ видѣ легкаго и прочнаго желѣзо-бетоннаго павильона съ двойными тонкими стѣнками и промежуточнымъ воздушнымъ прослойкомъ (*). Даже для желѣзно-дорожныхъ станцій холодныхъ городовъ Россіи возможно съ бѣльшей выгодой, по сравненію съ существующими, бѣльшей частью незатѣйливой архитектуры, каменными башнями, устраивать желѣзные вышки съ резервуарами въ полутеплыхъ, желѣзо-бетонныхъ, обшивочныхъ павильонахъ.

Оборудованіе башенъ.

Оборудованіе каждой башенной установки, по своему прямому назначенію, можно подраздѣлить на двѣ основныхъ группы. Къ первой — относятся необходимыя трубы, безъ которыхъ не можетъ функционировать ни одна башня, а ко второй — второстепенныя трубы и разные приборы, способствующие правильной ея эксплуатаціи. Ту и другую группу оборудованія разсмотримъ болѣе подробно.

Для водонапорнаго резервуара башни—устанавливаютъ двѣ главныхъ трубы: нагнетательную, съ водоизливнымъ отверстіемъ у наивысшаго уровня воды въ резервуарѣ—для постоянства напора, (**) подъ которымъ работаютъ насосы и разводящую, устье которой открывается у дна резервуара, возвышаясь надъ его глубокой точкой только на высоту въ 3—5 дм.—для предохраненія ионаданія въ сѣть осадковъ воды.

Для уравнительнаго резервуара—устанавливается одна общія труба, открывающаяся у самой глубокой части днища резервуара, какъ разводящая въ водонапорной башнѣ. Эта труба служитъ одновременно для нагнетанія воды и для отвода ея въ сѣть города.

(*) Коэффициентъ теплопроводности желѣза отъ 40 до 70, а цемента 0,059. Отношенія $\frac{40}{0,059}$ и $\frac{70}{0,059}$ — измѣняются въ предѣлахъ отъ $\frac{1}{678}$ до $\frac{1}{1186}$ т. е. ∞ 1:1000.

(**) Такъ какъ большинство часовъ въ сутки насосы работаютъ подъ ненаполненный до верха резервуаръ, то возможно водоизливное отверстіе нагнетательной трубы устанавливать немного ниже наивысшаго уровня воды въ резервуарѣ,—въ зависимости отъ оборудованія станціи насосами и прочихъ мѣстныхъ условій.

Въ первомъ случаѣ діаметръ нагнетательной трубы опредѣляется изъ уравненія:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v = \mu \cdot q \text{ или } d = 2 \sqrt{\frac{\mu \cdot q}{\pi \cdot v}}$$

гдѣ d —діаметръ трубы въ футахъ.

v — скорость воды въ футахъ въ секунду (3,28 ф.)

$q = \frac{Q}{24 \cdot 3600}$ — секунднй расходъ воды, опредѣляемый по среднему суточному потребленію въ куб. ф.

μ — коэффициентъ запаса—на случай скорого развитія водопровода, обыкновенно 1,25.

Напримѣръ — для средняго суточного потребленія въ 200 тысячъ ведеръ воды—($q=1,005$ к. ф.) діаметръ нагнетательной трубы будетъ

$$d = 2 \sqrt{\frac{1,25 \cdot 1,005}{3,14 \cdot 3,28}} = 0,69 \text{ ф.} = \approx 9 \text{ дм.}$$

Разводящая-же труба расчитывается по наибольшему секундному разбору воды.

Во второмъ случаѣ—общая труба расчитывается по формулѣ расхода воды:

$$q = \frac{V}{3600 \cdot t}$$

гдѣ V —емкость резервуара,

t —число часовъ, въ которые разборъ воды болѣе средняго часового.

Кромѣ этихъ трубъ—башня должна имѣть одну сигнальную трубу и одну сливную; первая труба указываетъ переполненіе резервуара, а вторая служитъ на случай его промывки.

Нагнетательныя и разводящія желѣзныя трубы, подъ резервуаромъ, устанавливаются вертикально и прочно укрѣпляются къ его днищу. Въ случаѣ деформациі днища резервуара и желѣзнаго остова башни, отъ измѣненія температуры ихъ матеріала и нагрузки, для предупрежденія разстройства плотности стыковъ трубъ, послѣднія снабжаются спеціальными приборами-компенсаторами, устанавливаемыми возможно ближе къ дну резервуара.

Наиболѣе распространенныя типы компенсаторовъ изображены на фиг. 10 и 11,

Къ приборамъ, относящимся главнымъ образомъ къ правильной эксклюзатіи башни можно причислить слѣдующіе:

1) Приборъ для ностояннаго и автоматическаго указанія, на водоподъемной станціи, стоянія уровня воды въ резервуарѣ, напр. индукціонный приборъ патента Л. М. Эриксона и К^о, новый приборъ „Le contrôle de la hauteur d'eau à distance—Otto—P. Postel—Vinay—Carpentier“ и др.

2) Приборы для записи, расходуемой сѣтью города, воды изъ резервуара башни, напр. труба Вентури съ автоматическимъ регистраторомъ, или съ контрольнымъ обходнымъ водомѣромъ небольшого калибра (*); вертушка Вольмана съ счетчиками разн^{ой} системы и др.

Кромѣ этого резервуары башенъ должны имѣть хорошую вентиляцію и громоотводъ.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инде—полезной емкости на 65 тыс. ведеръ воды и съ водонепроницаемой фундаментной галлереей. ()**

По заданію резервуаръ долженъ имѣть полезную емкость не менѣе 65 тысячъ ведеръ, а діаметръ D не свыше 37 футъ. (фиг. 12.)

Для того чтобы равнодѣйствующая R опорныхъ давленій отъ составляющихъ ея силъ давленія воды въ сферической части днища F₁ и въ конической—F₂ — проходила строго вертикально,

(*) Проф. Ю. В. Ланге. „Методъ измѣренія расхода воды въ трубахъ значительныхъ діаметровъ водомѣрами небольшихъ калибровъ и нѣсколько опытныхъ данныхъ по этому вопросу“. 1911 г.

(**) Расчеты отдѣльныхъ типовъ башенъ будутъ ниже приведены въ сокращенномъ видѣ и при томъ такъ, что чего нѣтъ въ одномъ разсматриваемомъ типѣ, то можно найти въ какомъ-нибудь другомъ. Это принято въ необходимое условіе—для сокращенія повтореній. Въ противномъ случаѣ этотъ трудъ получился-бы слишкомъ большимъ.

необходимо, чтобы углы между каждой составляющей и равнодѣлствующей были равны между собою, т. е. чтобы

$$\angle R, F_1 = \angle R, F_2$$

и тогда $F_1 = F_2$

Сила F_1 находится изъ уравненія

$$F_1 = \frac{\Delta \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h}{\pi \cdot d \cdot \cos (R, F_2)}$$

гдѣ h —средняя высота резервуара, взятая какъ полусумма высоты резервуара отъ наивысшей точки сферическаго днища и высоты резервуара отъ наинишей точки его;

d —діаметръ опорнаго кольца резервуара.

Сила F_2 — точно также находится изъ уравненія:

$$F_2 = \frac{\Delta \cdot \pi \cdot \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot h}{\pi \cdot d \cdot \cos (R, F_1)}$$

А такъ какъ $F_1 = F_2$, и $\angle R, F_1 = \angle R, F_2$,

то $D^2 - d^2 = d^2$

$$d = \sqrt{\frac{D^2}{2}} = \frac{D}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot D = 0,707 \cdot 37 = 26,159 \text{ ф.}$$

Принимаемъ $d = 26 \text{ ф.}$

Радіусъ сферическаго днища выбираемъ равнымъ $R=18,5$ футъ для того, чтобы уголъ между конической поверхностью и сферической былъ въ 90° ,—для удобства и прочности скленки ихъ закраинъ.

Наипыгоднѣйшую высоту цилиндрической части слѣдовало-бы взять равной

$$D : 2 = 18,5 \text{ футъ}$$

но, принимая въ расчетъ ширину листового желѣза, увеличиваемъ высоту до 20 футъ.

Не считая верхняго конуса резервуара, емкость его будетъ:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} h_1 + \frac{1}{3} \pi \cdot h_0 \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D \cdot d}{2} + \frac{d^2}{4} \right) -$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{1}{3} \pi \cdot h_o^2 (3 \cdot R - h_o) - h_1 \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 37^2 \cdot 20}{4} + \\
 & + \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 5,5 \left(\frac{37 \cdot 37}{4} + \frac{37 \cdot 26}{4} + \frac{26 \cdot 26}{4} \right) - \\
 & - \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 5,5 \cdot 5,5 \cdot (3 \cdot 18,5 - 5,5) - \frac{20 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 3,5}{4} \\
 & = 21493,3 + 4327,57 - 1583,08 - 192,32 = \\
 & = 24045,47 \text{ куб. фут.} = 55352,67 \text{ вед.}
 \end{aligned}$$

Принимая во вниманіе, что отверстіе разводящей трубы находится на высотѣ 4 футъ отъ опорнаго кольца, полезная емкость разоматриваемой части резервуара, если не считать незначительный вытѣсненный объемъ воды сигнальной трубой, лѣстницей и ребрами жесткости конусной части, будетъ слѣдующая:

$$\begin{aligned}
 V^1 \text{ полез.} & = 21300,98 + \frac{1}{3} \pi \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D}{2} \cdot \frac{d_o}{2} + \frac{d_o^2}{4} \right) - \\
 & - \frac{1}{3} \pi \cdot 1,5 \cdot 1,5 (3 \cdot 18,5 - 1,5) = 21300,98 + \\
 & + 3,14 \cdot 0,5 \left(\frac{37 \cdot 37}{4} + \frac{37 \cdot 34}{2 \cdot 2} + \frac{34 \cdot 34}{4} \right) - 3,14 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 54 = \\
 & = 21300,98 + 1484,82 - 127,17 = 22658,63 \text{ куб. ф.} = \\
 & = 52160,16 \text{ ведеръ.}
 \end{aligned}$$

Для того, чтобы получить объемъ резервуара полезной емкостью въ 65000 ведеръ и чтобы уменьшить силу давленія вѣтра на боковую поверхность большаго резервуара, верхнюю часть его дѣлаемъ въ видѣ конуса, образующая котораго направлена подъ $\angle 45^\circ$ къ горизонтали, съ высотой $h_2 = 9,25$ футъ.

При такомъ заданіи полезный объемъ верхняго конуса будетъ:

$$\begin{aligned}
 V_2 & = \frac{1}{3} \pi \cdot h_2 \left[\frac{D^2}{4} + \frac{D}{2} \left(\frac{D - 2 h_2}{2} \right) + \frac{(D - 2 h_2)^2}{4} \right] - \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot h_2 = \\
 & = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 9,25 \left(\frac{37 \cdot 37}{4} + \frac{37 \cdot 18,5}{2} + \frac{18,5 \cdot 18,5}{4} \right) - \\
 & - \frac{3,14 \cdot 3,5 \cdot 3,5 \cdot 9,25}{4} = 5709,76 \text{ куб. ф.} = 13143,86 \text{ ведеръ.}
 \end{aligned}$$

Полезный объемъ всего резервуара:

$$52160,16 + 13143,86 = 65304,02 \text{ ведра.}$$

Допуская, что внутреннія скрѣпленія резервуара, горизонтальная внутренняя площадка, лѣстница и трубы вытѣсняютъ собою объемъ воды при близ. 304,02 ведра — окончательно можно принять полезный объемъ резервуара не менѣе 65,000 ведеръ.

Прочные размѣры листового желѣза стѣнокъ резервуара находимъ изъ формулы (см. стр. 31) для русскихъ мѣръ:

$$\delta = \frac{1,72. h. r.}{12. R_1} + (0,10 - 0,20)$$

гдѣ h — высота столба воды въ футахъ, на 1 футъ отъ нижней кромки горизонтальнаго шва разсматриваемой части.

1,72 пуда — вѣсъ 1 куб. ф. воды,

r — радиусъ расчитываемой части резервуара въ футахъ,

R_1 — допускаемое напряженіе желѣза 395 пуд. на 1 кв. дм.

(0,10—0,20 дм.) добавленіе толщины стѣнки на ослабленіе заклепками, изнашиваніе и пр.

1. Верхній конусъ резервуара:

$$\delta_1 = \frac{1,72. (9,25 - 1). 1,42. 17,5}{12.395.} + 0,11 = 0,16 \text{ дм.}$$

принято $\delta_1 = \frac{3}{16} \text{ дм.}$

2. Первый поясъ цилиндрической части резервуара:

$$\delta_2 = \frac{1,72. 12,25. 18,5}{12.395.} + 0,11 = 0,18 \text{ дм}$$

принято $\delta_2 = \frac{9}{16} \text{ дм.}$

3 Второй поясъ:

$$\delta_3 = \frac{1,72. 16,25. 18,5}{12.395.} + 0,12 = 0,21 \text{ дм}$$

принято $\delta_3 = \frac{7}{32} \text{ дм.}$

4. Третій поясъ:

$$\delta_4 = \frac{1,72. 20,25. 18,5}{12.395.} + 0,12 = 0,25 \text{ дм.}$$

принято $\delta_4 = \frac{1}{4} \text{ дм.}$

5. Четвертый поясъ:

$$\delta_5 = \frac{1,72. 24,25. 18,5}{12.395.} + 0,12 = 0,26 \text{ дм.}$$

принято $\delta_5 = 1/4 \text{ дм.}$

6. Пятый поясъ:

$$\delta_6 = \frac{1,72. 28,25. 18,5}{12.395.} + 0,12 = 0,29 \text{ дм.}$$

принято $\delta_6 = 3/8 \text{ дм.}$

7. Нижний конусъ резервуара: (при $h = 29,25 \text{ ф.}$).

$$\delta_7 = \frac{1,72. 29,25. 1,42. 18,5}{12.395.} + 0,13 = 0,40 \text{ дм}$$

принято $\delta_7 = 5/12 \text{ дм.}$

8. Сферическое днище резервуара: (при $h = 29,25$).

$$\delta_8 = \frac{4. h. R.}{2.12. R_1.} + \delta_0 = \frac{1,72. 29,25. 9,25}{12. 395} + 0,13 = 0,23 \text{ дм}$$

принято $\delta_8 = 1/4 \text{ дм.}$

Для большей жесткости стѣнокъ резервуара, послѣдній имѣеть:

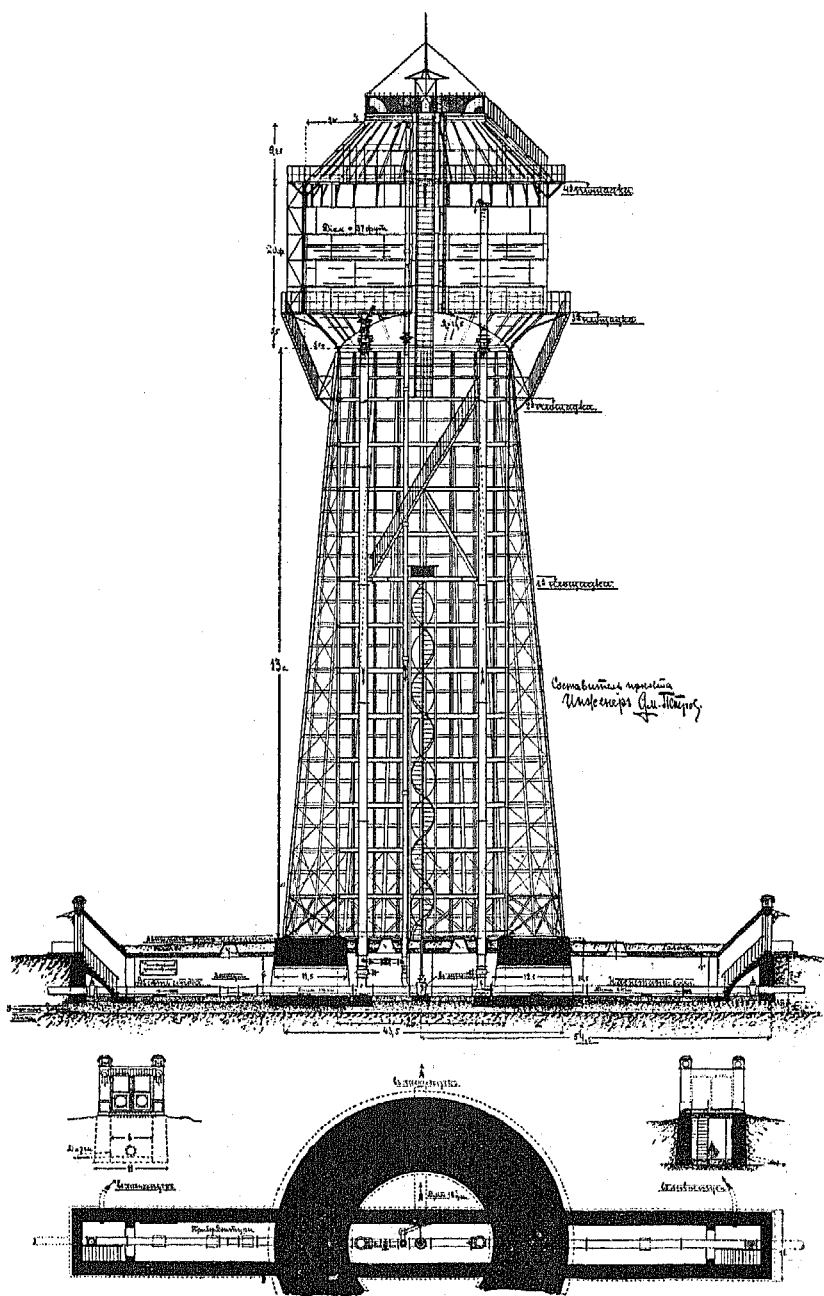
1) въ верхнемъ и нижнемъ конусахъ, на внутренней поверхности приклепаны изъ углового желѣза $50 \times 50 \times 5$ м.м.— такъ называемыя ребра жесткости;

2) въ круговыхъ стыкахъ цилиндрической и конической стѣнокъ съ внутренней стороны приклепаны накладки изъ листового желѣза вверху толщиной $3/16$ дм., а внизу $3/8$ дм.

Внутри резервуара, во всю его высоту, имѣется клепанная труба, внутренняго діаметра 3,5 фута; толщина листовъ ея вверху $3/16$ дм. и внизу $3/8$ дм.

Въ этой трубѣ помѣщается лѣстница, идущая вертикально со 2-й площадки остова башни (см. фиг. 12) до верха резервуара.

Верхнюю цилиндрическую часть резервуара, какъ снаружи, такъ и внутри, окружаюгъ легкія площадки для удобства окраски, ремонта и осмотра резервуара. Нижнюю-же цилиндрическую часть резервуара, снаружи, окружаетъ прочный балконъ



ΦΗΓ. 12.

Въ $\frac{1}{350}$ натур. величины.

Железная водонапорная башня съ резервуаромъ Инце, полезной емкости на 65 тыс. ведеръ воды и съ водонепроницаемой галлереей.

(По проекту инж. Д. В. Петрова).

Всѣ площадки и балконъ сообщаются лѣстницами, какъ это показано на разрѣзѣ башни (фиг. 12).

Вѣсъ резервуара съ лѣстницами, трубами и площадками около 3,600 пудовъ.

Вѣсъ воды въ резервуарѣ:

0,75. (55352,67 + 13143,86) = 51372,40 нуд. = ∞ 51400 пуд., что можно принять на случай перелива резервуара.

Вся эта нагрузка давитъ на желѣзный остовъ башни, который собранъ изъ 20 вертикальныхъ фермъ, установленныхъ радіально; каждая изъ нихъ въ очертаніи представляетъ собой прямоугольный треугольникъ высотой 91 футъ и съ гипотенузой въ 91,42 фута. раздѣленный по всей высотѣ, на 13 равныхъ частей.

Каждая тринадцатая часть фермы имѣетъ по два раскоса. Всѣ 20 фермъ скрѣплены между собой 14-ю внутренними горизонтальными и 13-ю наружными кольцами—не считая опорнаго кольца основанія башни и вѣнчающаго кольца для прикрѣпленія резервуара. Всѣ вертикальныя фермы, кромѣ горизонтальныхъ связей, скрѣплены между собою связями, въ видѣ раскосовъ, расположенными съ наружной и внутренней сторонъ фермъ.

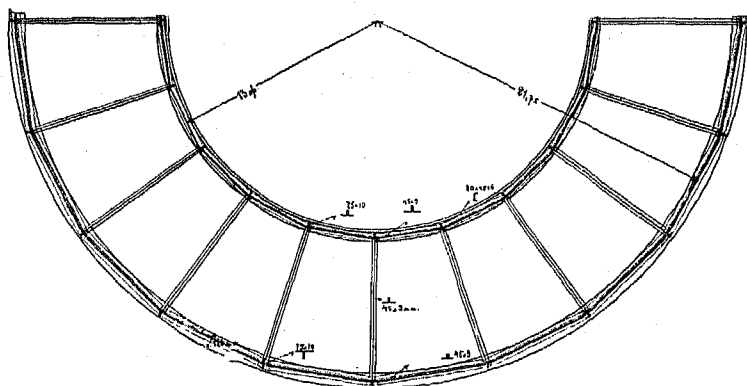
Собранный такимъ образомъ остовъ представляетъ собой устойчивую башню, прочно сопротивляющуюся, какъ вертикальнымъ силамъ вѣса воды, такъ и силѣ вѣтра. Давленіе на каждую ферму отъ вѣса воды въ резервуарѣ и вѣса самого резервуара равно:

$$\frac{1}{20}. (51400 + 3600) = 2750 \text{ пудовъ.}$$

Вертикальная стойка каждой вертикальной фермы, въ нижней части башни, отъ опорнаго кольца до середины, т. е. на протяженіи 6,5 сажень, собрана изъ двухъ уголковъ 75×75×10 м.м., а въ верхней части—изъ уголковъ 65×65×10 м.м.; точно также и наклонная часть треугольной фермы.

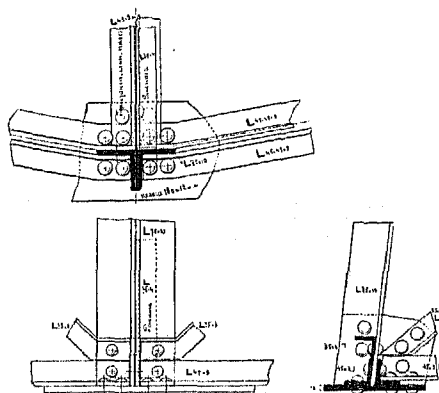
Нижніе узлы фермъ опираются на два кольца, склепанныхъ изъ котельнаго желѣза размѣровъ 180 м.м. × 12 м.м. (фиг. 13).

Наружный узелъ каждой фермы, у опорнаго кольца, представленъ на фиг. 14 въ трехъ своихъ проекціяхъ. Внутренніе-же узлы у опорнаго кольца тождественны съ наружными, съ той-лишь главной разницей, что въ первыхъ 2 уголка 75×75×10 м.м.



Фиг. 13.

направляются вертикально, а въ послѣднихъ—наклонно. Размѣры-же поясовъ и раскосовъ указаны на фиг. 14.



Фиг. 14.

Внутреннія горизонтальныя кольца, изъ корытнаго желѣза, слѣдующихъ размѣровъ:

1, 2 и 3 кольца: — $80 \times 45 \times 6$ мм. (фиг. 13)

4, 5, 6, 7 и 8-е — $65 \times 42 \times 5,5$ мм.

9-е кольцо (1-я площадка) — $100 \times 50 \times 6$ мм.

10, 11, 12-е кольцо $65 \times 42 \times 5,5$ мм.

13-е кольцо (2-я площадка) $80 \times 45 \times 6$ мм.

14-е кольцо $50 \times 38 \times 5$ мм.

Наружныя горизонтальныя кольца изъ углового желѣза (фиг. 15).

Съ 1-го — 8-е кольцо: $45 \times 45 \times 9$ мм.

и съ 9-го — 13-е кольцо: $40 \times 40 \times 6$ мм.

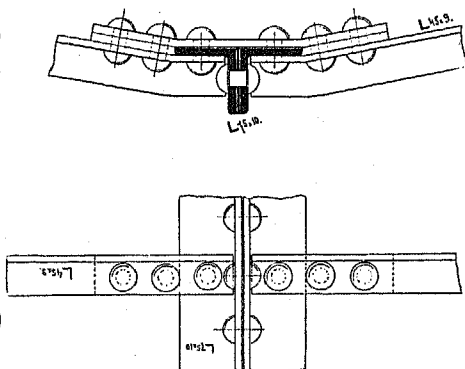
Вѣнчающее кольцо, къ которому приклепаны концы вертикальныхъ и наклонныхъ ногъ каждой фермы, имѣетъ діаметръ

26 футъ и состоитъ изъ полосы котельнаго желѣза шириной 306 м.м. (12 дм.) и толщиной 13 м.м. На это кольцо установленъ резервуаръ.

Вѣсъ остова башни, съ площадками и лѣстницами не менѣе 4500 пудовъ

Давленіе отъ силы вѣтра принимаемъ съ такимъ расчетомъ, чтобы горизонтальная составляющая была въ 180 килогр. (*) на кв. метръ, или пудъ на кв. футъ, тогда для:

а) верхней цилиндрической части резервуара (фиг. 12) имѣемъ:



Фиг. 15.

$$p_1 = 1. 18,5. 1 = 18, 5 \text{ пудовъ.}$$

б) для верхняго конуса:

$$p_2 = p. \sin 45^\circ. F = 1. \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{18,5 + 37.}{2} 9,25 = 181,5 \text{ пуда}$$

в) для цилиндрической части резервуара:

$$p_3 = 1. 37. 20 = 740 \text{ пудовъ.}$$

г) для нижняго конуса:

$$p_4 = p. \sin 45^\circ F_1 = 1. \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{37 + 26}{2} 5, 5 = 122,5 \text{ пуд.}$$

На полную площадь проекціи боковой поверхности резервуара равной

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = \\ = 18, 5 + 256, 68 + 740 + 173, 25 = 1188,43 \text{ кв. фута}$$

полное давленіе вѣтра равно

$$P_1 = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1062,5 \text{ пуд.}$$

(*) При расчетѣ стропилья шпица Петропавловскаго Собора въ С.-Петербургѣ—давленіе вѣтра было принято 50 пудовъ на 1 кв. саж. или 180 килогр. на 1 кв. метръ, что соотвѣтствуетъ урагану, со скоростью вѣтра 180 верстъ въ часъ.

Такъ какъ вѣтеръ давитъ на цилиндрическую поверхность, то

$$P = \frac{2}{3} \cdot P_1 = 708, 3 \text{ пуда или } \infty 710 \text{ пуд.}$$

(По послѣднимъ изслѣдованіямъ, усиліе отъ давленія вѣтра Ф. Риттеръ (Вѣна) рекомендуетъ брать съ коэффициентомъ въ 0,45, (*) а не съ $\frac{2}{3}$).

Центръ приложенія горизонтальной силы P относительно горизонтальной оси, проходящей черезъ самую низкую точку резервуара, находимъ изъ уравненія моментовъ площадей, относительно той-же оси, а именно:

$$\begin{aligned} \omega_1 \cdot h_1 + \omega_2 \cdot h_2 + \omega_3 \cdot h_3 + \omega_4 \cdot h_4 &= \omega \cdot h \\ (\text{Здѣсь } \omega_1 &= 18,50 \text{ кв. ф.} \\ \omega_2 &= 256,68 \text{ кв. ф.} \\ \omega_3 &= 740,00 \text{ кв. ф.} \\ \omega_4 &= 173,25 \text{ кв. ф.} \\ \omega &= 1188,43 \text{ кв. ф.} \end{aligned}$$

h, h_1, h_2, h_3 , и h_4 , — разстоянія въ футахъ центровъ тяжести площадей $\omega, \omega_1, \omega_2, \omega_3$ и ω_4 — отъ разсматриваемой горизонтальной оси).

Въ данномъ случаѣ

$$h_1 = 0,5 + 9,25 + 20 + 5,5 = 35,25 \text{ ф.}$$

$$h_2 = \frac{37 + 2.18,5}{37 + 18,5} \cdot \frac{9,25}{3} + 20 + 5,5 = 29,61 \text{ ф.}$$

$$h_3 = \frac{20}{2} + 5,5 = 15,5 \text{ ф.}$$

$$h_4 = \frac{26 + 2.37}{26 + 37} \cdot \frac{5,5}{3} = 2,9 \text{ ф.}$$

Подставляя эти величины въ уравненіе моментовъ, имѣемъ, что искомое разстояніе

$$\begin{aligned} h &= \frac{\omega_1 \cdot h_1 + \omega_2 \cdot h_2 + \omega_3 \cdot h_3 + \omega_4 \cdot h_4}{\omega} = \\ &= \frac{18,5 \cdot 35,25 + 256,68 \cdot 29,61 + 740 \cdot 15,5 + 173,25 \cdot 2,9}{1188,43} = 17,02 \text{ ф.} \end{aligned}$$

(*) Fr. Ritter. Winddruck auf Cylinder- und Kugelflächen, Zeitschr. f. Luftschiffahrt u. Physik d. Atm., Апрель. Май 1896 г.

Общій наибольшій опрокидывающій моментъ находимъ, предполагая, что башня имѣетъ сплошной круглый остовъ, а не рѣшетчатый, слѣдующимъ образомъ:

1) Моментъ отъ поверхности резервуара равенъ:

$$M_1 = P. (h + H) = 710 (17,02 + 91) = 76694,2 \text{ пудо-фута}$$

2) Моментъ остова башни:

$$M_2 = \frac{2}{3} p. \frac{43,5 + 26}{2} \cdot 91 \cdot H_0 = \frac{69,5 \cdot 91 \cdot H_0}{3} = 2108,2 \cdot H_0$$

$$\text{Здѣсь } H_0 = \frac{43,5 + 2,26}{43,5 + 26} \cdot \frac{91}{3} = 41,68 \text{ фута.}$$

Слѣдовательно моментъ

$$M_2 = 2108,2 \cdot 41,68 = 87869,78 \text{ пудо-фута.}$$

Наибольшій опрокидывающій моментъ будетъ

$$M_{\max} = M_1 + M_2 = 164563,98 \text{ п.-ф.}$$

Моментъ отъ вѣса башни, съ резервуаромъ безъ воды, считая діаметръ опорнаго кольца отъ болта до болта въ 44 ф.,

$$M = \frac{Q \cdot D}{2} = (3600 + 4500) \cdot \frac{44}{2} = 178200 \text{ пудо-футонъ.}$$

Коэффициентъ устойчивости башни:

$$\frac{Q \cdot D}{2 \cdot P \cdot e} = \frac{356400}{2 \cdot 164563,98} = 1,08,$$

что вполне достаточно, такъ какъ резервуаръ ея почти не бываетъ безъ воды

Коэффициентъ легкости

$$\mu = \frac{8100}{51400} = \infty 0,16$$

Фундаментъ башни, въ видѣ кирпичнаго кольца, предполагалось заложить на глубинѣ 10,5 футъ, на плотно-утрамбованную глину. Вѣсъ фундамента:

$$Q_1 = V \cdot g,$$

$$\text{гдѣ } V = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot X_0 = 600 \text{ куб. ф. } (^{\circ}) = 126 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 17,375 = \\ = 600 = 13148,49 \text{ куб. ф. } = 38,34 \text{ куб. саж.}$$

(*) Объемъ всѣхъ отверстій въ стѣнкѣ кольцевого фундамента.

$$g = 1000 \text{ пудовъ.}$$

$$\text{Слѣдов. } Q_1 = 38340 \text{ пудовъ.}$$

Полное давленіе на грунтъ, при резервуарѣ наполненномъ водою

$$8100 + 51400 + 38340 = 97840 \text{ пуд., (*)}$$

что составляетъ на 1 кв. футъ —

$$97840 : 1363,9375 = 71,73 \text{ пуда или почти } 0,5 \text{ пуда на } 1 \text{ кв. дм. (1,31 kgr. на } 1 \text{ кв. сан.)}$$

Не смотря на полную устойчивость всего сооруженія, основное кольцо остова башни прикрѣплено къ фундаменту 40 болтами діам. въ $1\frac{1}{2}$ дм. и длиною 4,5 фута.

Какъ видно изъ разрѣза (фиг. 12)—башня имѣетъ солидную фундаментную камеру, для водонепроницаемости которой, какъ подъ бетоннымъ дномъ ея, такъ и снаружи стѣнокъ, плотно утрамбована глина, а кирпичная кладка на цементномъ растворѣ.

Камера устроена съ такимъ расчетомъ, чтобы водонепроницаемыя стѣнки ея прочно сопротивлялись въ случаѣ полного затопленія ея водой, при разрывѣ трубы. Для отвода воды изъ камеры проложены въ срединѣ 18 дм. и по бокамъ двѣ 7 дм. трубы въ ближайшей ливнеспускъ канализаціи. Въ случаѣ неожиданнаго переполненія камеры водой, послѣдняя можетъ выходить черезъ боковые выходныя отверстія, мѣстность у которыхъ спланирована съ наклономъ отъ башни. При такомъ уотройствѣ, во время разрыва трубы и заполнения камеры водой—избѣгается опасность подмыва фундамента со всѣми неприятными послѣдствіями, и человеку, котораго можетъ случайно захватить вода въ этой камерѣ, легче спастись, чѣмъ въ камерахъ безъ водоотлива и съ узкими входными люками.

Внутренніе размѣры камеры $104 \times 6 \times 6$ фут.; что соотвѣтствуетъ объему въ 8615 ведеръ, т. е. почти $\frac{1}{8}$ объема резервуара башни. Помѣщеніе достаточно свѣтлое, съ 4 иллюминаторами въ чугунныхъ коробкахъ, пропущенныхъ черезъ бетонный сводъ, автоматически

(*) Не считая давленія на грунтъ, отъ дѣйствія вѣтра на башню.

открывающимися вниз, что сдѣлано на тотъ случай, если большой разрывъ одной изъ трубъ произойдетъ снаружи водонепроницаемой камеры и чтобы обильная вода, не накопляясь на поверхности камеры, скорѣе уходила черезъ камеру въ ливнесускъ.

Въ камерѣ предполагалось помѣстить на особой распредѣлительной доскѣ, у входа, всѣ необходимые измѣрительные приборы: приборъ Вентуры, отсчитывающій количество протекающей воды, въ зависимости отъ разности скоростей теченія въ двухъ различныхъ сѣченіяхъ разводящей трубы, (фиг. 12) и соединенный съ часовымъ механизмомъ, вращающимъ барабанъ съ накладываемой на него ежедневно бумагой, для автоматической записи разбора воды въ городѣ; ртутный указатель уровня воды въ резервуарѣ, сигнальный звонокъ съ вершины башни, манометръ и счетчикъ электрической энергіи освѣщенія резервуара, башни и камеры.

Что касается оборудованія башни трубами, то схема ихъ достаточно ясно показана на разрывѣ (фиг. 12).

Башня имѣетъ громоотводъ, а резервуаръ вентиляціонныя отверстія. (*)

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 50 тысячъ ведеръ воды.

Разсматриваемая башня (фиг. 16) была спроектирована въ 1906 году и предназначалась для Николаевского городского водопровода.

Допускаемое напряженіе R для литого желѣза было принято равнымъ 1200 килогр. на кв. сан., а давленіе вѣтра $P=180$ килогр. на кв. метръ поверхности резервуара и всей металлической конструкціи.

Диаметръ резервуара $D=10,50$ метр

Полезная высота цилиндрической части резервуара $h=7,15$ метр.

Полная высота сферической части $h_1=0,95$ метр.

(*) На стр. 48 нижній чертежъ фиг. 15-й отпечатанъ неправильно, его нужно повернуть на 180° .

Радиусъ сферическаго дна $\rho = 15$ метр.

Емкость резервуара:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h + \frac{\pi \cdot h_1^2}{3} (3\rho - h_1) = \frac{3,14 \cdot 10,5^2 \cdot 7 \cdot 15}{4} + \frac{3,14 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot (3 \cdot 15 - 0,95)}{3} = 660,44 \text{ куб. метр.} = \infty 660 \text{ тонн} = 53753 \text{ ведра.}$$

Полезная емкость принята не меньше 50000 ведеръ.

Разрывающее усиліе на 1 метръ длины листовъ днища будетъ:

$$S = 0,5 \cdot \Delta \cdot (h + h_1). \quad \rho = 0,5 \cdot 1000 \cdot 8,10 \cdot 15 = 60750 \text{ килогр. или } 607,5 \text{ килогр на } 1 \text{ сант.}$$

Ослабленіе дна резервуара 14 м.м. заклепками составляетъ, при 6,4 сант. разстоянія между соедѣнными заклепками,

$$g = \frac{l-d}{l} = \frac{6,4 - 1,4}{6,4} = 0,78$$

Слѣдовательно наименьшая толщина днища должна быть

$$\delta = \frac{S}{g \cdot R_0} = \frac{607,5}{0,78 \cdot 1200} = 0,6 \text{ сан.} = 6 \text{ м.м.}$$

Принимаемъ $\delta = 7$ м.м.

Толщину вертикальной стѣнки резервуара опредѣляемъ изъ формулы

$$\delta_1 = \frac{(h + h_1) \cdot D}{g \cdot R_0} + \delta_0 = \frac{8,10 \cdot 5,25}{0,78 \cdot 12} + 1 = 4 \text{ мм.} + 1 \text{ мм.} = 5 \text{ мм.}$$

гдѣ R_0 -- напряженіе, равное 12 килогр. на 1 кв. м.м.,

$\delta_0 = 1$ м.м. — (вмѣсто 5 м.м.) — прибавленіе на ржавчину, такъ какъ въ формулу введенъ коэффициентъ ослабленія заклепками.

Такъ какъ въ верхнихъ листахъ резервуара толщина ихъ получается по расчету меньше, то у кольца днища принимаемъ $\delta_1 = 5$ м.м., а въ верхнихъ частяхъ — 4 м.м.

Резервуаръ опирается на 8-угольное кольцо остова башни въ 32-хъ точкахъ, которыя находятся другъ отъ друга на равныхъ разстояніяхъ.

Нагрузка каждой из опор резервуара составляется из вѣса воды=660 тоннъ, вѣса резервуара 21 тонна, кровли=6 тоннъ $\pm$ перегрузка отъ вѣтра. Величину послѣдней въ данномъ случаѣ находимъ при условіи, что резервуаръ представляетъ собою жесткое тѣло, способное прочно сопротивляться изгибу.

Изгибающій моментъ силъ вѣтра, дѣйствующихъ на резервуаръ, относительно плоскости опоръ, равенъ:

$$M = \frac{2}{3} \left(\frac{D}{2} P \sin \alpha \right) \cdot \left(\frac{1}{3} f + h_0 + h + a \right) + \frac{2}{3} \left[D \cdot (h_0 + h + a) P \right] \frac{1}{2} (h_0 + h + a)$$

Здѣсь $f = 2,2$ метра—высота кровли,

$D = 10,5$ метр.—діаметръ резервуара,

$P = 180$ килогр. на 1 кв. метръ,

$\alpha = 18^\circ$ уголъ кровли,

$h_0 = 0,9$ метра—холостая высота резервуара, т. е.

высота части резервуара—между отверстіями холостой трубы и верхней кромкой резервуара;

$h = 7,15$ метра—полезная высота цилиндрической части резервуара.

$a = 0,35$ метра—высота клепанной опорной балки.

Послѣ подстановки этихъ величинъ въ уравненіе моментовъ силъ вѣтра—получимъ

$$M = 428,274 \cdot 9,13 + 10584 \times 4,20 = \infty 48365 \text{ килогр.-метр.}$$

Наибольшее давленіе на кольцо остова башни опредѣляемъ изъ формулы

$$M = P_{\max} \cdot \frac{I}{r} = P_{\max} \cdot W,$$

гдѣ $P_{\max}$ —наибольшее давленіе на опору резервуара,

I —моментъ инерціи опоры резервуара относительно оси, перпендикулярной направленію вѣтра и

$r = 5,327$ м.—радіусъ круга, описаннаго около этого многоугольника.

Для простоты расчета будемъ считать, что резервуаръ опирается не на 32 опоры, а на 16, тогда

$$I = 2. \omega. [r^2 + 2. (a^2 + b^2 + c^2)].$$

Здѣсь ω — площадь опоры.

a — расстояние 2-й опоры отъ оси $\perp$ направленно вѣтра,

b — » 3-й » » » » » »

c — » 4-й » » » » » »

Зная, что сторона данного шестнадцатиугольника будетъ равняться 2,0386 метр., то

$$a = 4,9215 \text{ метр.}$$

$$b = 3,7668 \text{ »}$$

$$c = 2,0385 \text{ »}$$

Слѣдов

$$I = \omega. 2. [5,327^2 + 2(4,9215^2 + 3,7668^2 + 2,0385^2)] = 227,02. \omega.$$

Моментъ сопротивленія

$$W = \frac{227,02. \omega}{5,327} = 42,616. \omega$$

Давленіе отъ вѣтра на одну опору:

$$P_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{48365}{42,616} = \infty 1136 \text{ килогр.}$$

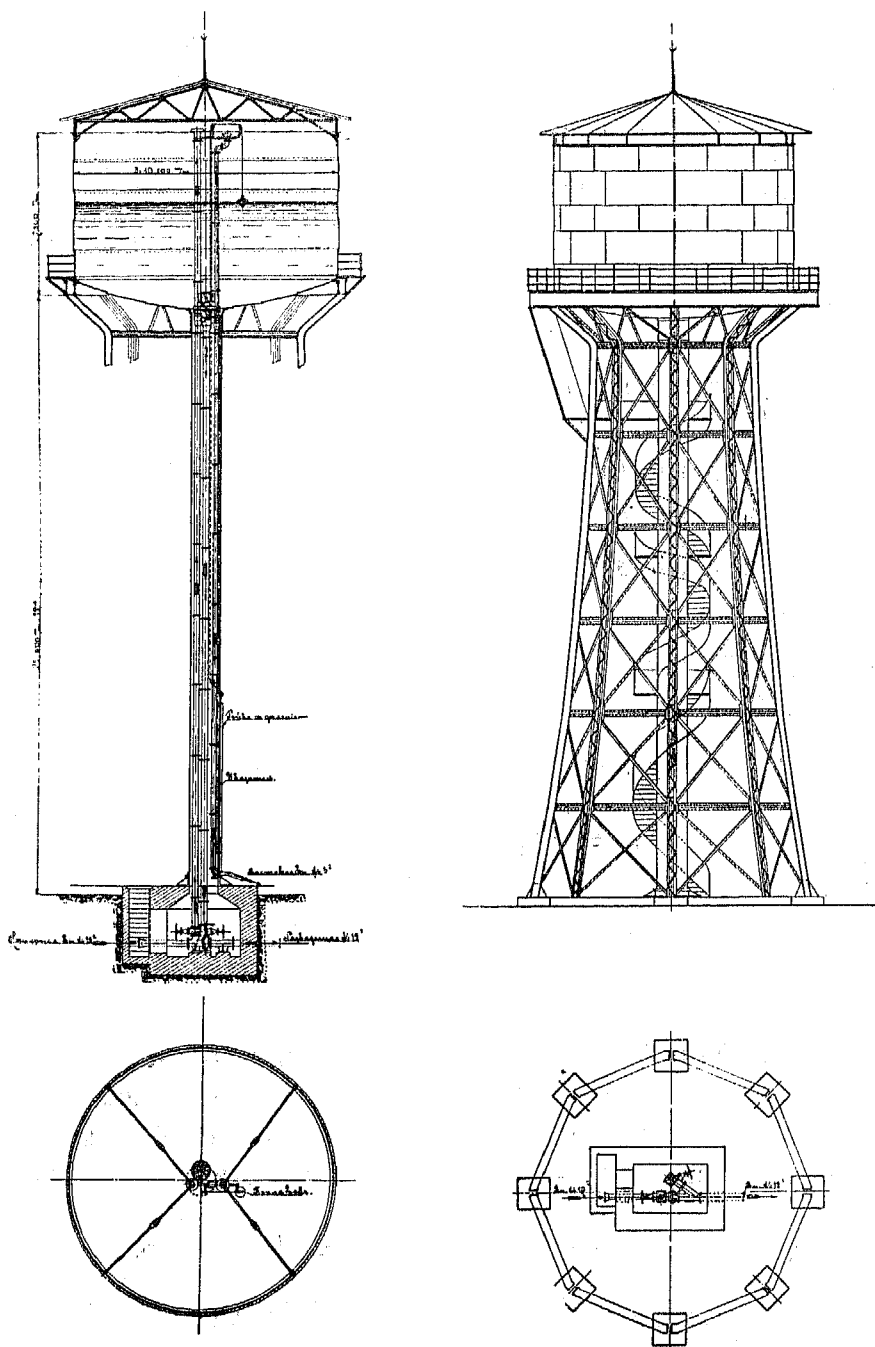
Распредѣляя это давленіе на двѣ опорныя точки, такъ какъ принимали въ этомъ подсчетѣ вмѣсто 32—16 опоръ, получимъ наибольшую величину перегрузки на одну опору въ 568 килогр. или 0,568 тоннъ. Полное-же давленіе на опору при вѣтрѣ

$$Q = \frac{660 + 21 + 6}{32} + 0,568 = 22,036 \text{ тоннъ.}$$

Изгибающій моментъ по срединѣ одного элемента верхняго кольца:

$$M = 22036 \times 0,505 = 11128,18 \text{ кил.-метр.} = 1112818 \text{ килогр.-сант.}$$

Кромѣ *изгиба*, въ этомъ элементѣ кольца появляется *вытягиваніе*, вслѣдствіе наклоннаго расположенія стержней верхняго яру-



Фиг. 16

Въ $\frac{1}{320}$ натур. величины.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 50 тысячъ ведеръ воды.

(По проекту Акционернаго Общества Судостроительныхъ, Механическихъ и Литейныхъ заводовъ въ Николаевѣ).

са. Графическое опредѣленіе этого усилія P , приблизительно, + 95 тоннъ.

На основаніи этого, верхнее опорное кольцо составлено изъ двухъ клепанныхъ балокъ, собранныхъ изъ вертикальныхъ листовъ 350×8 м.м. и 8 уголковъ $90 \times 90 \times 10$ м.м., показанныхъ на раз-рѣзѣ фиг. 16. Разстояніе между вертикальными листами 25 м.м.

Площадь поперечнаго сѣченія такого кольца

$$\omega_{\text{netto}} = 166 \text{ кв. сан.}$$

$$I_{\text{netto}} = 32023 \text{ сант.}^4$$

$$W = \frac{I_{\text{netto}}}{0,5 \cdot l} = \frac{32023}{17,5} = 1830 \text{ сан.}^3$$

Наибольшее напряженіе въ элементѣ, на основаніи формулы сложнаго сопротивленія:

$$R_{\text{max}} = \frac{P}{\omega_{\text{netto}}} + \frac{M}{W} = \frac{95000}{166} + \frac{1112818}{1830} = 1180 \text{ kgr.}$$

на кв. сан., т. е. менѣе допускаемаго въ 1200 kgr. на кв. сан.

Усилія въ остальныхъ элементахъ верхняго яруса опредѣлены при помощи графостатическаго метода. Они равны: въ ребрахъ, служащихъ продолженіемъ реберъ нижней части—50 тоннъ, а въ стержняхъ, образующихъ дополнительные узлы верхняго кольца—29 тоннъ.

Сѣченія этихъ реберъ приняты слѣдующія:

1., *Главные ребра.*

□□ 2 коробки № 18 по П. Р. С. на взаимномъ разстояніи 20 сант. Длина—2,90 метра. Площадь сѣченія

$$\omega_{\text{brutto}} = 58,52 \text{ кв. сан}$$

$$\omega_{\text{netto}} = 52,12 \text{ кв. сант.}$$

$$I_{\text{min.}} = 2866 \text{ сан.}^4$$

$$r^2 = \frac{I_{\text{min.}}}{\omega_{\text{netto}}} = \frac{2866}{52,12} = 48,98 \text{ сан.}^2$$

Коэффициентъ Навье

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \cdot \frac{I^2}{r^2}} = \frac{1}{1 + 0,00008 \cdot \frac{290 \cdot 290}{48,98}} = 0,88$$

Допускаемое напряженіе

$$R_1 = \varphi \cdot R = 0,88 \cdot 1200 = 1056 \text{ кил. на кв. с.}$$

Дѣйствительное

$$R_2 = \frac{50000}{52,12} = 960 \text{ кил. на кв. с.} < 1056 \text{ кил. на кв. сан.}$$

2. Дополнительные стержни.

 Сѣченіе составлено изъ четырехъ уголковъ $80 \times 80 \times 8$ м.м., удаленныхъ другъ отъ друга на 8 м.м.

Длина этого элемента 3,27 метра.

Площадь сѣченія:

$$\omega\text{-brutto} = 49,08 \text{ кв. сан.}$$

$$\omega\text{-netto} = 42,68 \text{ кв. сан.}$$

Квадратъ наименьшаго радіуса инерціи сѣченія

$$r^2 = \frac{I}{\omega\text{-brutto}} = 12,93 \text{ сан.}$$

Коэффициентъ Навье

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \cdot \frac{327 \cdot 327}{12,93}} = 0,60$$

Допускаемое напряженіе

$$R_1 = 0,60 \cdot 1200 = 720 \text{ килогр. на кв. сан.}$$

Дѣйствительное

$$R_2 = \frac{29000}{42,68} = 680 < 720 \text{ кил. на кв. сан.}$$

Изъ всѣхъ остальныхъ элементовъ желѣзнаго остова башни, покажемъ способъ расчета только для нижняго яруса, какъ работающаго сильнѣе остальныхъ.

1. Ребра.

Усилія въ ребрахъ опредѣлены по тому-же методу, какой былъ примѣненъ при опредѣленіи наибольшихъ нагрузокъ на опоры резервуара. Дѣйствительно, нагрузка на нижній ярусъ остова башни, при резервуарѣ наполненномъ водой, равна

$$660 + 21 + 6 + 45 = 732 \text{ тонны,}$$

а на одно ребро: $732 : 8 = 91,5$ тонны

Изгибающий моментъ отъ работы вѣтра, относительно плоскости, проходящей черезъ верхнюю распорку нижняго яруса, находимъ такъ:

Площадь проекціи кровли на плоскость перпендикулярную къ направленію вѣтра

$\omega_1 = \frac{1}{2} (2,2 \cdot 10,5) = 11,55$ кв. метр.; разстояніе центра тяжести до основанія $h_1 = 0,73$ м.

Площадь проекціи резервуара на ту-же плоскость принимаемъ равной

$$\omega_2 = 10,5 \cdot (0,90 + 7,15 + 0,35) = 88,20 \text{ квадр. метр.}; h_2 = 4,20 \text{ м.}$$

Площадь проекціи части остова башни, между нижнимъ ребромъ кольца, поддерживающаго резервуаръ, и первымъ горизонтальнымъ кольцомъ, принимаемъ равной

$$\omega_3 = \frac{a+b}{2} \cdot h (*) = \frac{10,5+6,48}{2} \cdot 2,10 = 17,829 \text{ кв. метр.}$$

Такъ какъ эта поверхность съ большими просвѣтами, то принимаемъ ее, какъ и всѣ послѣдующія съ уменьшеніемъ на 50%, т. е.

$$\omega_3 = 17,829 - 50\% = 8,9145 \text{ кв. метр.}; h_3 = \frac{2 \cdot a + b}{a + b} \cdot \frac{h}{3} = 1,13 \text{ мет.}$$

Точно также площади проекцій частей остова, между 1 и 2 кольцомъ, 2 и 3-мъ, 3 и 4-мъ, 4 и 5-мъ, 5 и 6-мъ будутъ:

$$\omega_4 = 12 \text{ кв. метр.}; h_4 = 2 \text{ метра.}$$

$$\omega_5 = 13 \text{ кв. метр.}; h_5 = 2 \text{ метра.}$$

(*) Диаметръ 1-го кольца—6,48 метр.

"	2	"	6,68	"
"	3	"	7,21	"
"	4	"	8,10	"
"	5	"	9,35	"
"	6	"	10,95	"
"	7	"	12,90	"

Разстояніе между нижнимъ ребромъ кольца, поддерживающимъ резервуаръ, и 1-мъ кольцомъ остова башни — 2,10 метр.

Разстояніе между 1-мъ и 2-мъ кольцомъ — 3,90 "

" " 2 и 3 " — 3,90 "

" " 3 и 4 " — 3,90 "

" " 4 и 5 " — 3,90 "

" " 5 и 6 " — 3,90 "

" " 6 и 7 " — 3,90 "

высота башни — 25,50 метр.

$\omega_6 = 15$ кв. метр.; $h_6 = 2$ метра.

$\omega_7 = 17$ кв. метр.; $h_7 = 2$ метра.

$\omega_8 = 19$ кв. метр.; $h_8 = 2$ метра.

Слѣдовательно искомый изгибающій моментъ:

$$M = \frac{2}{3} \cdot p. \sin 18^\circ. 11,55. (0,73 + 8,40 + 21,60) + \\ + \frac{2}{3} \cdot p. 88,20. (4,20 + 21,60) + p. 9. (1,13 + 19,50) + \\ + p. 12. 17,60 + p. 13. 13,70 + p. 15. 9,80 + p. 17. 5,90 + \\ + p. 19. 2 = 437295 \text{ кил.-метр.} = \infty 437 \text{ тоннъ-метровъ.}$$

Моментъ сопротивленія сѣченія башни плоскостью, проходящей черезъ верхнюю распорку нижняго яруса:

$$W = 25,7. \omega. \text{ метр.}^3$$

Наибольшее давленіе на одно ребро отъ дѣйствія вѣтра:

$$P = \frac{M}{W} = \frac{437}{25,7} = 17 \text{ тоннъ.}$$

Полное наибольшее вертикальное давленіе на ребро нижняго яруса

$$P_{\max.} = 91,5 + 17 = 108,5 \text{ тонны.}$$

Какъ видно изъ фиг. 16, всѣ ребра нижняго яруса довольно сильно наклонены къ горизонту, $\cosinus$ угла наклона ихъ составляетъ около 0,962, такъ что усиліе въ ребрѣ равняется

$$- 108,5 : 0,962 = - 112,8 = \infty - 113 \text{ тоннъ.}$$

Длина разсматриваемой части ребра

$$l = h : \sin (90 - \alpha) = h : \cos. \alpha = 3,90 : 0,962 = 4,05 \text{ метр.}$$

Сѣченіе ребра составлено изъ двухъ швелеровъ

][№ 28. Р.Н.С., удаленныхъ одинъ отъ другого на 20 сант.

Площадь сѣченія и моментъ инерціи:

$$\omega_{\text{brutto}} = 2. 55,96 = 111,92 \text{ кв. сан.}$$

$$\omega_{\text{netto}} = 2. 53,86 = 107,72 \text{ кв. сан.}$$

$$I_{\min} = 12944 \text{ сан.}^4$$

Квадратъ радіуса инерціи сѣченія

$$r^2 = \frac{I_{\min.}}{\omega_{\text{brutto}}} = \frac{12944}{111,92} = 115,6 \text{ кв. сан.}$$

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \frac{405.405}{115,6}} = 0,88$$

Допускаемое напряженіе матеріала $R_1 = \varphi \cdot R = 0,88 \cdot 1200 = 1057$ кил. на кв. сант., дѣйствительное-же

$R_2 = \frac{113000}{107,72} = 1049$ кил. на кв. сант., т. е. < 1057 килогр. на кв. сант.

2. Діагонали.

Для опредѣленія усилій въ діагоналяхъ нижняго яруса дѣлаемъ горизонтальное сѣченіе черезъ ярусъ и беремъ моментъ дѣйствующихъ силъ вѣтра относительно оси, проходящей черезъ точку пересѣченія реберъ этого яруса и перпендикулярной направленію вѣтра. Въ запасъ прочности положимъ, что работать будутъ только діагонали плоскостей, параллельныхъ направленію вѣтра.

Точка пересѣченія реберъ находится отъ горизонта опоръ на разстояніи 25,88 метра. Изгибающій моментъ всѣхъ горизонтальныхъ силъ вѣтра:

$$M = \infty 133 \text{ тоннъ-метр.}$$

Плечо усилія въ діагонали: $r = 18,70$ метр.

Усиліе въ діагонали

$$D = \frac{M}{2 \cdot r} = \frac{133}{2 \cdot 18,70} = + 3,5 \text{ тонны} = 3500 \text{ килогр.}$$

Для такого усилія вполне достаточно сѣченіе изъ одного уголка въ $60 \times 40 \times 8$ м.м.

Въ остальныхъ діагоналяхъ усиліе можетъ быть опредѣлено точно такимъ-же образомъ.

Что касается наибольшаго давленія на грунтъ и коэффиціента устойчивости сооруженія, то таковыя находимъ слѣдующимъ способомъ.

Наибольшій изгибающій моментъ въ основаніи башни отъ вѣтра равенъ $\infty 555$ тоннъ-метр., а моментъ сопротивленія основанія $= 30,22$ м. мет.³

Наибольшее давленіе отъ вѣтра на грунтъ

$$P = \frac{M}{W} = 18,3 \text{ тонны.}$$

Давленіе на грунтъ отъ вѣса резервуара, воды въ немъ и полнаго вѣса всего устройства башни:

$$Q = 660 + 21 + 6 + 56 = 743 \text{ тонны,}$$

а на одну опору, съ вѣтромъ + вѣсъ фундамента, равный ∞ 17 тоннъ на каждую опору

$$q = \frac{743}{8} + 18,3 + 17 = 128,17 \text{ тонны.}$$

При площади основанія каждой опоры, равной

$$1,9 \times 1,9 = 3,61 \text{ кв. метр.}$$

давленіе на грунтъ равно $128170 : 3,61 = 35504$ кил. па кв. метр., что составляетъ ∞ 3,6 кил. на 1 кв. сан. или ∞ 1,4 пуда на кв. дм.

Коэффициентъ устойчивости башни, когда резервуаръ ея безъ воды, равенъ

$$Y = \frac{M_{\text{вѣса}}}{M_{\text{вѣтра}}} = \left[\left(\frac{A+B+C}{8} + D \right) \cdot (a + b + c) \cdot 2 \right] : M_{\text{вѣтра}} = \infty 2,5$$

Здѣсь $A = 21$ тонна — вѣсъ резервуара,

$B = 6$ тоннъ — » его кровли,

$C = 56$ тоннъ — » башни,

$D = 17$ тоннъ — $> 1/8$ части фундамента;

$a = 3,80$ метр. — плечо сопротивляющагося момента какой-нибудь одной опоры, т. е. разстояніе между ребромъ опрокидыванія (*) и первой слѣдующей опорой;

$b = 9,10$ метр. — плечо сопротивляющагося момента слѣдующей опоры, т. е. разстояніе между тѣмъ-же ребромъ опрокидыванія и второй опорой;

$c = 12,90$ метр. — плечо сопротивляющагося момента слѣдующей опоры, т. е. разстояніе между тѣмъ-же ребромъ опрокидыванія и третьей опорой;

$$M_{\text{вѣтра}} = 555 \text{ тоннъ — метр.}$$

Водонапорная башня имѣетъ только необходимое оборудованіе, а именно: одну 10-дюймовую нагнетательную трубу, 12-дм. разводящую, одну 5-дм. вѣстовую, громоотводъ и простой указатель уровня воды въ видѣ металлическаго поплавка съ противовѣсомъ,

(*) Ребромъ опрокидыванія принята одна сторона восьмиугольнаго основанія, отъ которой и отсчитываются кратчайшія разстоянія $a = 3,80$ м. $b = 9,10$ м. и $c = 12,90$ м.

двигающимся по вертикально-установленной рейкѣ съ соответствующими дѣленіями.

Камера задвижекъ представляетъ собою небольшое помѣщеніе въ центральной части фундамента башни, гдѣ расположены основные узлы трубъ съ фасонными частями и задвижками

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 22865 вед. воды, съ водонепроницаемой фундаментной камерой

Эта башня, изображенная ниже на фиг. 17-й и 18-й была спроектирована въ 1908 году для Тюменскаго городского водопровода; затѣмъ она была замѣнена другимъ варіантомъ — уравнительной башней (фиг. 19), сообразно которой въ послѣдствіи была разработана предварительная смѣта. (*).

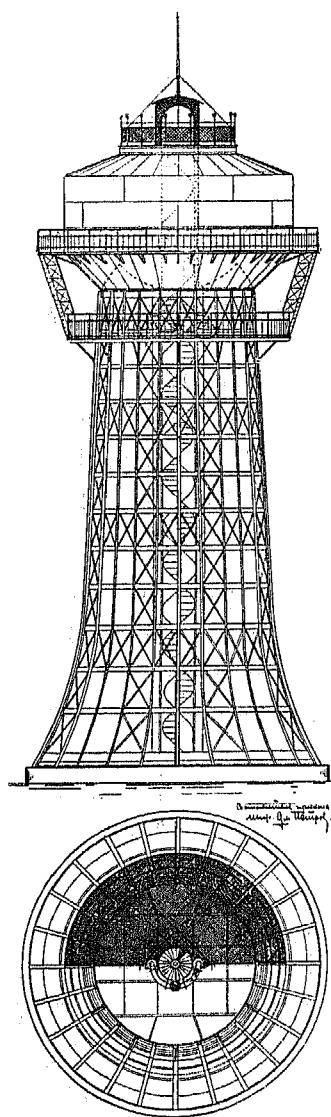
Стоимость башни, съ полнымъ оборудованіемъ, съ огражденіемъ ея мѣста установки желѣзо-бетонной рѣшеткой, съ жилымъ двухъ-этажнымъ каменнымъ домомъ при ней (контрольно-испытательная станція водомѣровъ) по предварительной смѣтѣ была исчислена въ 30 тысячъ руб.

При устройствѣ-же, вмѣсто винтовой центральной лѣстницы — электрическаго безопаснаго лифта, стоимость башни должна увеличиться на 4000 руб.

Водопроводный вопросъ въ г. Тюмени остался вопросомъ до настоящаго времени; дѣло затормозилось, вследствие чего кромѣ башенъ перваго и втораго типа — авторомъ этого труда ничего не было спроектировано

Водопроводная башня (фиг. 17 и 18) собрана изъ 24 желѣзныхъ стоекъ, установленныхъ наклонно и съ значительнымъ отгибомъ внизу. Стойки остова, до половины высоты башни, подобраны изъ желѣза корытнаго профиля № 16 по Р. Н. С., а во второй половинѣ высоты башни, т. е. ближе къ резервуару, изъ корытнаго желѣза № 14

(*) Основные проектные соображенія о Тюменскомъ водопроводѣ были мной помѣщены 7 октября 1908 г. въ № 219 „Сибирской Торговой Газеты“.



Фиг. 17.

Въ $\frac{1}{800}$ натур. величины.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инце на 22865 ведеръ воды.

(По проекту инж. Д. В. Петрова).

Внутри стойки связаны 11-ю горизонтальными кольцами, не считая опорного и верхнего, служащего базой для днища резервуара.

Горизонтальные кольца из углового железа следующих сечений:

1-е, 2-е и 3-е	кольца	100 × 100 × 13 м.м.
4-е, 5-е и 6-е	„	90 × 90 × 12 м.м.
7-е, 8-е, 9-е и 10-е	„	80 × 80 × 12 м.м.

Последнее-же, 11-е кольцо, на которомъ настлана и укрѣплена площадка изъ рифленого железа по корытнымъ балкамъ № 8 собрано изъ швелера № 10 по Р. Н. С.

Діагонали, связывающія эти горизонтальныя кольца и стойки остова, расположены такимъ образомъ, что весь остовъ башни получается состоящимъ изъ 8-ми рѣшетчатыхъ балокъ, перевязанныхъ 4-мя рѣшетчатыми кольцами (фиг. 17).

Всѣ діагонали изъ углового железа, а именно:

до 3-го горизонтальнаго кольца	80 × 80 × 10 м.м.
отъ 3-го до 6-го „ „	75 × 75 × 10 м.м.
„ 6-го „ 9-го „ „	70 × 70 × 10 м.м.
„ 9-го до резервуара башни	60 × 60 × 10 м.м.

Нижніе концы стоекъ приклепаны къ опорному фундаментному кольцу, типа фигур. 23, склепанному изъ опорной полосы $10 \times \frac{1}{2}$ дм., наклонной полосы $12 \times \frac{3}{8}$ дм. и двухъ угловыхъ жесткости $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм.

Подобная система остова является настолько жесткой, что, напряженія матеріала во всѣхъ оѣченіяхъ башни не превосходятъ 1250 килогр. на кв. сант. (*)

Къ фундаменту башня укрѣплена 24-мя болтами, діам. 1 дм. и длиной 3 фута.

Полезная емкость резервуара, принимая во вниманіе, что отверстіе разводящей трубы возвышается на одинъ футъ отъ сферическаго днища, а центръ отверстія вѣстовой трубы на одинъ

(*) Расчетъ стоекъ и діагоналей былъ произведенъ, принимая во вниманіе вертикальную нагрузку отъ наполненнаго водой резервуара и собственнаго вѣса металлической конструкции $\pm$ дѣйствіе вѣтра (180 килогр. на кв. сан.).

футъ ниже верхней крышки резервуара, составляетъ 9941,59 куб. фут. или 22865 ведеръ воды.

Допуская напряженіе листового желѣза въ 1000 килогр. на кв. сан., а коэффициентъ ослабленія швовъ въ 0,75,—дѣйствительное напряженіе не превзойдено въ листахъ

$$0,75 \times 1000 = 750 \text{ км. на кв. сан.}$$

при толщинѣ:

- 1.) въ верхнемъ конусѣ — 3 м.м.
- 2.) въ 1-мъ и 2-мъ поясахъ цилиндрической части резервуара—3 м.м.
- 3.) въ 3-мъ поясѣ » » » » » 4 м.м.
- 4.) въ нижнемъ конусѣ резервуара башни 4 м.м.
- 5.) въ сферическомъ днищѣ » » » » » 3 м.м.

Полный вѣсъ всего сооруженія около 48000 килогр. или ∞ 3000 пуд., слѣдовательно коэффициентъ легкости башни выражается въ

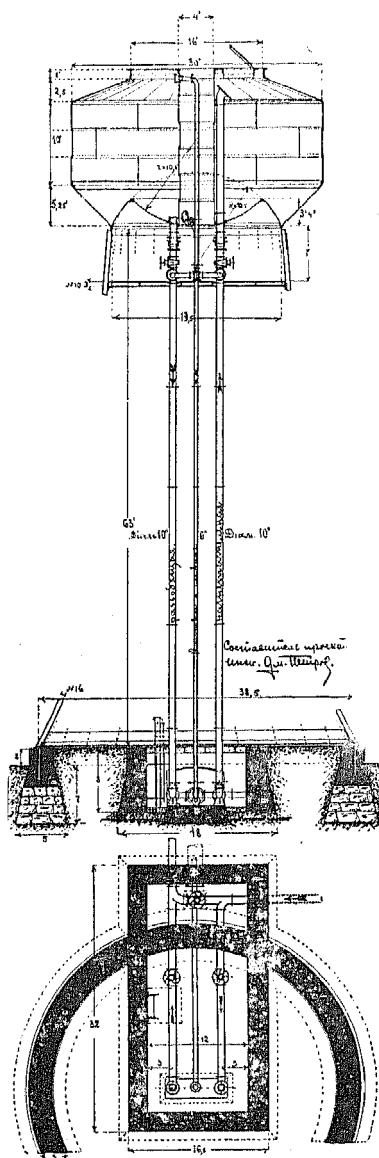
$$\mu = \infty 0,17$$

Сообщеніе вершины башни съ землей совершается при помощи винтовой центральной лѣстницы (*) до перваго балкона, расположеннаго на высотѣ 8 саж.; съ балкона-же идетъ винтовая лѣстница черезъ горловину резервуара на верхнюю его площадку. Первый балконъ при помощи двухъ наклонныхъ боковыхъ лѣстницъ сообщается со вторымъ балкономъ.

Фундаментъ башни, какъ показано на фиг. 18, въ видѣ каменнаго кольца, заможеннаго на глубину 1 саж. Это кольцо принимаетъ на себя весь грузъ башни. Въ центрѣ фундаментнаго кольца начинается водонепроницаемая камера, выходящая въ одномъ мѣстѣ за его предѣлы. Внутренніе размѣры камеры 27,5×12×6,5 фут. Она перекрыта бетоннымъ потолкомъ между двутавровыми балками. Входъ въ камеру черезъ квадратный люкъ и стремяную лѣстницу.

Въ случаѣ разрыва трубъ—камера можетъ вмѣстить около 5 тысячъ ведеръ воды, т. е. почти пятую часть полезной емкости резервуара.

(*) Въ случаѣ устройства лифта, вмѣсто винтовой лѣстницы, предполагалась къ устройству запасная стремяная лѣстница.



Фиг. 18.

Въ $\frac{1}{275}$ натур. величины.

Разрѣзъ башни и водонепроницаемой фундаментной камеры.

(По проекту инж. Д. В. Петрова).

Желѣзныя трубы башни, съ компенсаторами у днища, расположены такимъ образомъ, что воду, во время ремонта и очистки резервуара, возможно нагнетать помимо его черезъ колонну высотой 8 сажень; для этого 10 дм. нагнетательная и 10 дм. разводящая трубы на этой высотѣ, въ 8 саж., соединены между собою, какъ показано на (фиг. 17 и 18). Кроме того, установленныя на этихъ трубахъ задвижки позволяютъ нагнетать воду въ сѣтъ и минуя колонну.

Вѣстовая 6 дм. труба расположена въ центрѣ винтовой лѣстницы; она служитъ въ то-же время и сливной трубой, для чего снабжена у нижней части резервуара соответствующимъ 3 дм. патрубкомъ съ 3 дм. задвижкой.

Выпускъ воды изъ нижняго конуса резервуара въ его сферическое дно производится при помощи сифона.

Вѣстовая, она-же и сливная, труба открывается въ коллекторъ канализаціи, который служитъ для отлива воды при случайномъ затопленіи камеры

Желѣзная уравнительная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 33350 ведеръ воды и съ водонепроницаемой фундаментной галлереей.

Какъ ранѣе упомянуто, при разсмотрѣніи предыдущей водонапорной башни, эта башня (фиг. 19) была спроектирована для водопровода гор. Тюмени—въ 1908 году.

Въ основу проекта была принята выгодная во всѣхъ отношеніяхъ гиперболоидальная сѣтка остова башни системы инж. В. Г. Шухова.

Расчетъ башни былъ произведенъ слѣдующимъ образомъ.

Емкость резервуара сист. проф. Инце:

$$V = (V_1 + V_2 + V_3) - V_0 + V_4 + (V_5 - V_6).$$

a) Верхній конусъ:

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot (17.17^2 + 17.9 \cdot 9.9 + 9.9^2) = 1642,22 \text{ к. ф.}$$

в) Цилиндрическая часть резервуара:

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} h = \frac{3,14 \cdot 34,34}{4} \cdot 10,5 = 9528,33 \text{ куб. ф.}$$

с) Часть нижняго конуса, высотой 6,75—2,70=4,05 фута:

$$V_3 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 4,05 \cdot (17,17 + 17,12,95 + 12,95,12,95) = 2869,17 \text{ куб. ф.}$$

д) Часть внутренней горловины резервуара $d=3,5$ фута и $h=17,55$ фута:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 3,5 \cdot 3,5}{4} \cdot 17,55 = 168,76 \text{ куб. фут.}$$

е) Нижняя часть нижняго конуса резервуара:

$$V_4 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) - \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (r^2 + r \cdot r_1 + r_1^2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r - r \cdot r_1 - r_1^2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,7 \cdot (12,95,12,95 + 12,95,10,25 - 10,25,7,55 - 7,55,7,55) = \\ = 469,25 \text{ к. ф.}$$

ф) Сферическое днище резервуара:

$$V_5 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h^2 \cdot (3 \cdot R - h) = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,7 \cdot 2,7 \cdot (3 \cdot 10,5 - 2,7) = \\ = 219,75 \text{ куб. ф.}$$

г) Часть внутренней горловины, $d=3,5$ ф и $h=2,7$ ф.

$$V_6 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 3,5 \cdot 3,5}{4} \cdot 2,7 = 25,96 \text{ кб. ф.}$$

$$V = (1642,22 + 9528,33 + 2869,17) - 168,76 + 469,25 + \\ + (219,75 - 25,96) = 14524 \text{ куб. ф.} = 33405 \text{ ведеръ воды.}$$

Такъ какъ отверстіе трубы находится на одинъ футъ выше самой глубокой точки резервуара, то полезная емкость его равна 14500 куб. футъ или 33350 ведеръ воды.

Толщина стѣнокъ резервуара подсчитана, принимая во вниманіе коэффициентъ ослабленія заклепками въ 0,76, при дѣйствительномъ напряженіи листовъ въ 300 пудовъ на одинъ кв. дм. или въ 760 килегр. на кв. сант.

а) Верхняя часть резервуара и одинъ вънецъ его цилиндрической части:

$$\delta = \frac{R. \text{ h. } \Delta}{\text{к. } 12} + \delta_1 = \frac{17. \left(\frac{10,5}{2} + 3 - 1\right). 1,728}{300,12} + 0,025 = 0,059 + \\ + 0,025 = 0,084 \text{ дм.} = \infty 2 \text{ м.м.}$$

б) Нижній вънецъ цилиндрической части резервуара:

$$\delta = \frac{17. (10,5 + 3 - 1). 1,728}{300,12} + 0,025 = 0,128 \text{ дм.} = \infty 3 \text{ м.м.}$$

с) Нижній конусъ резервуара:

$$\delta = \frac{10,25. 1,42. (3 + 10,5 + 6,75). 1,728}{300,12} + 0,025 = 0,166 \text{ дм.} = \\ = \infty 4 \text{ м.м.}$$

Стѣнку внутренняго конуса резервуара принимаемъ также въ 4 м.м.

д) Сферическое днище резервуара:

$$\delta = \frac{R. \text{ h. } \Delta}{2. \text{ к. } 12} + \delta_1 = \frac{1}{300,12} 5,25. (3 + 10,5 + 6,75). 1,728 + \\ + 0,025 = 0,076 \text{ дм.} = 2 \text{ м.м.}$$

Принимаемъ толщину днища въ 3 м.м; толщину-же листовъ горловины въ верхней части принимаемъ въ два м.м., а въ нижней въ— 3 м.м.

Внутреннія боковыя поверхности конусовъ имѣютъ уголки жесткости — 50×50×7 м.м.

Всѣ резервуара, включая площадку, громоотводъ, стремяную лѣстницу внутри резервуара и внутреннюю винтовую лѣстницу на всемъ протяженіи его высоты, а также уголки жесткости 50×50×7 м.м, составляетъ ∞ 800 пудовъ.

Остовъ башни представляетъ собой гиперboloидъ вращенія, поверхность котораго состоитъ изъ 32 наклоненныхъ къ горизонту реберъ или стоекъ, представляющихъ касательныя къ горизонтальнымъ кольцамъ гиперboloида, (фиг. 19). Стойки остова собра-

ны внизу изъ углового (*) желѣза $110 \times 110 \times 12$ м.м. (до 4-го горизонтальнаго кольца), а вверху изъ уголковъ $100 \times 100 \times 12$ м.м. Горизонтальныя-же кольца:

1-е —	80	$\times$	80	$\times$	10	м.м.
2-е —	75	$\times$	75	$\times$	10	м.м.
3-е и 4-е —	65	$\times$	65	$\times$	10	м.м.
5-е —	55	$\times$	55	$\times$	9	м.м.
6-е —	50	$\times$	50	$\times$	9	м.м.
7-е (площадка)	80	$\times$	80	$\times$	10	м.м.

Всѣ эти размѣры подобраны на основаніи техническаго подсчета, который приводимъ здѣсь въ сокращенномъ видѣ.

Равнодѣйствующая давленій вѣтра (**) на боковую поверхность резервуара, при условіи, что сила давленія на 1 кв. метръ равна 180 килогр., будетъ:

$$P = \frac{2}{3} \cdot 541,34 = 360,8 \text{ пуда или } 5910 \text{ килогр.}$$

Разстояніе центра приложенія этой равнодѣйствующей отъ оси, проходящей черезъ самую глубокую точку резервуара:

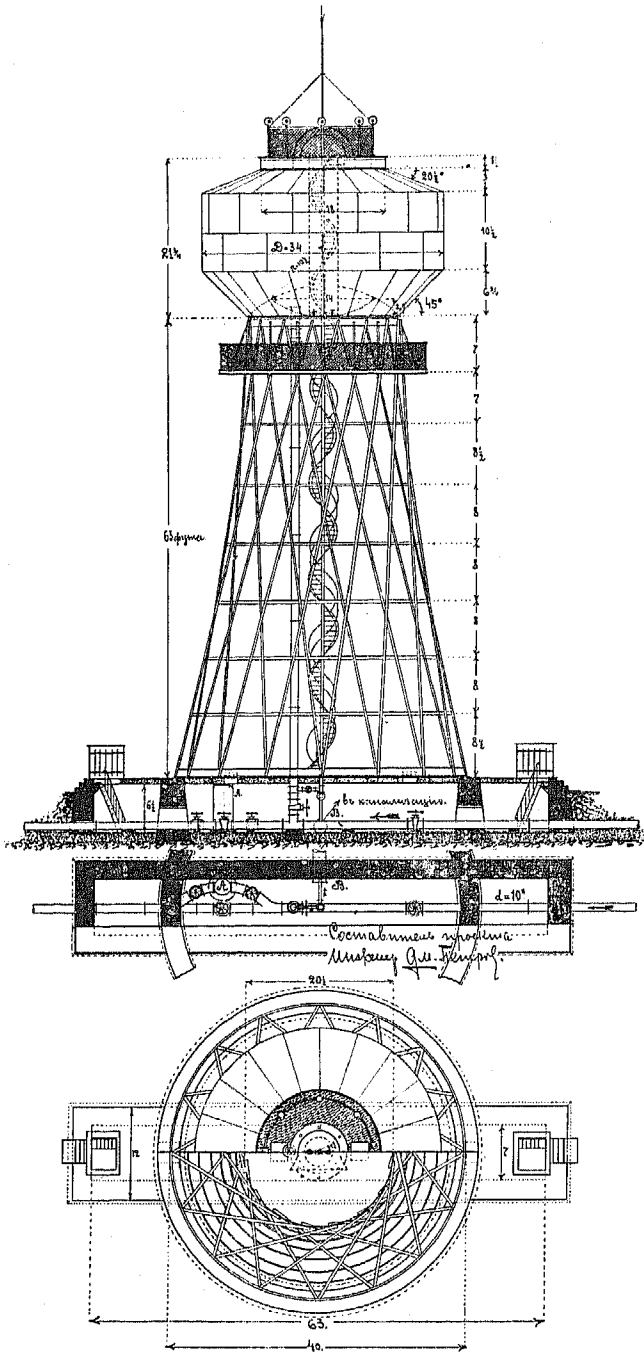
$$h = 10,8 \text{ фута} = 3,3 \text{ метра.}$$

Давленіе вѣтра на остовъ подраздѣляемъ на двѣ группы:

1-я группа—давленіе вѣтра на	$\lfloor$	100	$\times$	100	$\times$	12	м.м.
2-я „ „ „ „	$\lfloor$	110	$\times$	110	$\times$	12	м.м.

(*) Всѣ остовы башенъ снет. инж. В. Г. Шухова собираются заводомъ А. В. Барн въ Москвѣ—изъ углового желѣза. При проектированіи разсматриваемой башни была сдѣлана попытка собрать остовъ изъ желѣзныхъ трубъ, чтобы этимъ достигнуть еще большую легкость сооруженія, но попытка оказалась неудачной, вследствие дорогаго соединенія трубчатыхъ стоекъ въ мѣстахъ пересѣченій и болѣе хлопотливой сборки, требующей значительно больше времени, чѣмъ при сборкѣ стоекъ остова изъ углового желѣза. Примѣненіе-же для соединеній частей остова сравнительно недорогихъ оригинальныхъ швейцарскихъ соединеній марки +gf+ (см. каталогъ 1908 г. Акціонернаго Общ. Желѣзодѣлат. и Сталелит. Заводовъ „Жоржъ Фишеръ“ въ Шафгаузенѣ) оказалось затруднительнымъ въ смыслѣ сборки и неконструктивнымъ, ибо при сложномъ замыканіи каждаго яруса остова пришлось-бы въ нѣкоторыхъ пересѣченіяхъ ставить вмѣсто швейцарскихъ соединеній—какія-нибудь другія. Замкнуть-же ярусъ остова только при помощи однихъ швейцарскихъ соединеній—представляется почти невозможнымъ.

(**) Способъ подсчета, см. предыдущія башни.



Фиг. 19.

Въ $\frac{1}{320}$ натур. величины.

Железная уравнивательная башня съ остовомъ системы инж. В. Г. Шухова
и съ резервуаромъ на 33350 ведеръ воды.
(По проекту инж. Д. В. Петрова).

Подъ вліяніемъ силы вѣтра, горизонтальныя сѣченія ногъ остова башни подвергаются ломающимъ моментамъ, величины которыхъ опредѣляются на основаніи формулы строительной механики, для случая смѣшанной нагрузки, т. е. если балка однимъ своимъ концомъ закрѣплена, а къ другому приложенъ грузъ и кромѣ того, по всей ея длинѣ дѣйствуетъ равномерно-распределенная нагрузка, то наибольшій моментъ внѣшнихъ силъ будетъ выражаться формулой:

$$M_{\text{макс.}} = P \cdot l_0 + p \cdot l \cdot \frac{l}{2}$$

или для нашего случая:

$$M_{\text{макс.}} = P \cdot (h + x) + p \cdot \frac{x^2}{2}$$

гдѣ $P = 5910$ килогр.

$h = 3,3$ метра.

$x =$ разстоянію разсматриваемаго сѣченія отъ глубокой точки резервуара;—въ данномъ случаѣ (фиг. 19)

для 1-го сѣченія: $x_1 = 7$ футъ $= 2,134$ метра

„ 2 „ „ $x_2 = 14$ „ $= 4,268$ „

„ 3 „ „ $x_3 = 22,5$ „ $= 6,860$ „

„ 4 „ „ $x_4 = 30,5$ „ $= 9,30$ „

„ 5 „ „ $x_5 = 38,5$ „ $= 11,74$ „

„ 6 „ „ $x_6 = 46,5$ „ $= 14,18$ „

„ 7 „ „ $x_7 = 54,5$ „ $= 16,62$ „

„ 8 „ „ $x_8 = 63$ „ $= 19,20$ „

Что касается нагрузки отъ вѣтра— p , то она для каждаго метра высоты остова башни, считая отъ дна резервуара до четвертаго горизонтальнаго кольца, при уголкахъ стоекъ $100 \times 100 \times 12$ м.м., равна:

$$p = 0,100.32.1.180 = 576 \text{ килогр.},$$

а при уголкахъ стоекъ $110 \times 110 \times 12$ м.м.:

$$p_1 = 0,110.32.1.180 = 634 \text{ килогр.}$$

Принимая эти данныя для расчета соотвѣтствующихъ сѣченій остова башни, получаемъ въ округленныхъ цифрахъ слѣдующіе наибольшіе моменты:

$$\text{для 1-го сѣченія: } M_1 = 5910. (3,3 + 2,134) + \frac{1}{2}. 576.2,134^2 = \\ = 33425 \text{ килогр.-метр.}$$

$$\text{„ 2 „ } M_2 = 5910. (5,434 + 2,134) + \frac{1}{2}. 576.4,268^2 = \\ = 49972 \text{ килогр.-метр.}$$

$$\text{„ 3 „ } M_3 = 5910. (7,568 + 2,592) + \frac{1}{2}. 576.6,86^2 = \\ = 73599 \text{ килогр.-метр.}$$

$$\text{„ 4 „ } M_4 = 5910. (10,16 + 2,44) + \frac{1}{2}. 576.9,3^2 = \\ = 99375 \text{ килогр.-метр.}$$

Такъ какъ пятое сѣченіе захватываетъ стойки башни друго-го размѣра, то расчетъ будемъ производить по этой-же формулѣ, принимая лишь равнодѣйствующую давленій вѣтра первыхъ четы-рехъ сѣченій остова равной:

$$P_1 = p. x_4 = 576.9,3 = \infty 5356 \text{ килогр.,}$$

а разстояніе точки приложенія этой силы P_1 до четвертаго сѣченія

$$b = \frac{1}{2}. x_4 = 4,65 \text{ метра.}$$

Слѣдовательно дальнѣйшій подсчетъ моментовъ будетъ та-ковъ:

$$\text{для 5-го сѣченія: } M_5 = 5910.15,04 + 5356. (4,65 + 2,44) + \\ + \frac{1}{2}. 634.2,44^2 = 128748 \text{ кил.-метр.}$$

$$\text{для 6-го сѣченія: } M_6 = 5910.17,48 + 5356.9,53 + 317.4,88.4,88 = \\ = 161898 \text{ килогр.-метр.}$$

$$\text{„ 7 „ } M_7 = 5910.19,92 + 5356.11,97 + 317.7,32.7,32 = \\ = 198824 \text{ килогр.-метр.}$$

$$\text{„ 8 „ } M_8 = 5910.22,50 + 5356.14,55 + 317.9,9.9,9 = \\ = 241974 \text{ килогр.-метр.}$$

Изъ условія прочности на изгибъ, ломающій моментъ равенъ моменту сопротивленія, умноженному на величину допускаемаго на-пряженія матеріала на единицу площади, т. е.

$$M = W R = n. \omega. r R$$

гдѣ ω = площади поперечнаго сѣченія стойки въ разсматривае-момъ сѣченіи,

$2n = 32$, т. е. числу стоек остова башни,

r = радиусу круга, по которому расположены стойки въ разсматриваемомъ сѣченіи остова башни.

Усиліе на каждый уголокъ стойки:

$$t = \omega \cdot R = \frac{M}{n \cdot r}.$$

По этой формулѣ находимъ усилія во всѣхъ разсматриваемыхъ сѣченіяхъ, а именно:

для 1-го сѣченія:	$t = \frac{33425}{16.3,04} = 687$	килогр;	гдѣ $r = 10$	футъ = 3,04 метр.
„ 2 „	$t = \frac{49972}{16.3,34} = 935$	„ „	$r = 11$	„ = 3,34 „
„ 3 „	$t = \frac{73599}{16.3,65} = 1260$	„ „	$r = 12$	„ = 3,65 „
„ 4 „	$t = \frac{99375}{16.3,95} = 1572$	„ „	$r = 13$	„ = 3,95 „
„ 5 „	$t = \frac{128748}{16.4,33} = 1860$	„ „	$r = 14,25$	„ = 4,33 „
„ 6 „	$t = \frac{161898}{16.4,86} = 2082$	„ „	$r = 16$	„ = 4,86 „
„ 7 „	$t = \frac{198824}{16.5,32} = 2335$	„ „	$r = 17,50$	„ = 5,32 „
„ 8 „	$t = \frac{241974}{16.6,08} = 2487$	„ „	$r = 20$	„ = 6,08 „

Чтобы найти общія наибольшія усилія для всѣхъ сѣченій стоекъ остова башни, необходимо къ найденнымъ усиліямъ отъ дѣйствія вѣтра прибавить усилія отъ собственнаго вѣса всего сооруженія, включая полный вѣсъ воды въ резервуарѣ.

Вѣсъ воды:

$$Q = 12,29 \cdot 33405 = 410548 \text{ килогр.}$$

Полный вѣсъ резервуара:

$$b_0 = \infty \quad 12800 \text{ килогр.}$$

Этотъ грузъ $Q + b_0$, поддерживается 32-мя стойками, слѣдовательно усиліе на каждую изъ нихъ

$$b_1 = \frac{1}{32} (Q + b_0) = \infty \quad 13230 \text{ килогр.}$$

Вѣсь остова башни, площадки, лѣстницы, балкона, павильона (*) и вѣнчающаго горизонтальнаго кольца (базы подъ резервуаръ) можно принять ∞ 26000 килогр., что составляетъ давленіе $b_2 = \frac{26000}{32,19,20} = 42,3$ килогр. на каждый уголокъ остова отъ одного метра высоты башни.

Такимъ образомъ общее наибольшее усиліе сжатія уголка остова башни высотой x метр. равно:

$$P_{\text{макс.}} = t + b_1 + b_2 x$$

Подставляя въ эту формулу соотвѣтствующія значенія, получимъ общее наибольшее усиліе въ каждомъ изъ разсматриваемыхъ сѣченій. Дѣйствительно:

для 1-го сѣченія:	$P_{\text{макс.}}$	$=$	$687 + 13230 + 42,3,2,134 = 14007$	килогр.
— 2	"	"	$= 935 + 13230 + 42,3,4,268 = 14345$	"
— 3	"	"	$= 1260 + 13230 + 42,3,6,860 = 14780$	"
— 4	"	"	$= 1572 + 13230 + 42,3,9,300 = 15195$	"
— 5	"	"	$= 1860 + 13230 + 42,3,11,74 = 15587$	"
— 6	"	"	$= 2082 + 13230 + 42,3,14,18 = 15912$	"
— 7	"	"	$= 2335 + 13230 + 42,3,16,62 = 16268$	"
— 8	"	"	$= 2487 + 13230 + 42,3,19,20 = 16529$	"

Зная общія наибольшія усилія въ стойкахъ, послѣднія проверяемъ на продольный изгибъ, считая свободную длину, равную вертикальному разстоянію между горизонтальными кольцами остова:

а) Для верхнихъ уголковъ:

$$\text{Коэффициентъ } \varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 l^2 \frac{\omega}{I}} = 0,63.$$

$$\text{Здѣсь } l_{\text{макс.}} = 8,5 \text{ фут.} = 258 \text{ сан.}$$

$$\omega = 22,7 \text{ кв. сан.}$$

$I = 207 \text{ сан.}^4$ (моментъ инерціи сѣченія относительно оси, проходящей черезъ центръ тяжести уголка параллельно его полкѣ, такъ какъ только въ данномъ направленіи, въ виду скрѣпленія уголковъ остова между собою и съ горизонтальными кольцами можно ожидать изгибъ уголка.)

(*) Павильонъ для закрытія резервуара башни на (фиг. 19) не показанъ, такъ какъ неизвѣстны будущіе источники Тюменскаго водоснабженія (рѣка, подпочвенная вода или смѣшанная, т. е. та и другая).

Основное напряженіе 1100 килогр. на одинъ кв. сант., допускаемое-же для 3-го сѣченія, такъ какъ только для этого сѣченія $l_{\max.} = 258$ сан. и $\varphi = 0,63$,

$$K = R. \varphi = 1100.0,63 = 693 \text{ килогр. на кв. сант.}$$

Дѣйствительное-же:

$$K_1 = P_{\max.} : \omega = 14780:22,7 = \infty 652 \text{ килогр., т. е. } < 693 \text{ килогр.}$$

Для 4-го же сѣченія: $l = 8 \text{ ф.} = 244 \text{ сан.}$, $\varphi = 0,66$, $K = 726 \text{ к. на кв. сан.}$ и $K_1 = 670 \text{ кил. на кв. сан.}$

б) Для нижнихъ уголковъ:

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008. 258. 258. \frac{\omega}{l}} = 0,68$$

$$\text{Здѣсь } \omega = 25 \text{ кв. сан.}$$

$$l. = 280 \text{ сан.}^4$$

Такъ какъ $l_{\max.} = 258 \text{ сан.}$ —наибольшее разстояніе между 7-мъ и 8-мъ горизонтальными кольцами, то достаточно опредѣлить напряженія на кв. сан. въ послѣднемъ сѣченіи, для остальныхъ-же сѣченій они будутъ меньше опредѣляемыхъ. И такъ для послѣдняго сѣченія:

$$K = R. \varphi = 1100 \times 0,68 = 748 \text{ кил. на кв. сан.}$$

$$K_1 = P_{\max.} : \omega = 16529:25 = 661 \text{ кил. на кв. сан. т. е. } < 748 \text{ к.}$$

Включая, при сборкѣ башни, вмѣсто 7 горизонтальныхъ колець—еще одно, т. е. всего 8 колець,—достигнемъ при всѣхъ другихъ одинаковыхъ условіяхъ—болѣе меньшихъ напряженій въ сѣченіяхъ и слѣдовательно, конструція остова башни будетъ прочнѣе

Нижніе концы ногъ остова башни укрѣплены къ опорному фундаментному кольцу, состоящему изъ горизонтальной желѣзной полосы, шириной 250 м.м. и толщиной 10 м.м. и наклонной желѣзной полосы, соотвѣтствующей наклону ногъ остова, высотой 400 м.м. и толщиной 10 м.м.

Горизонтальная полоса кольца и наклонная—внизу, съ двухъ сторонъ, скрѣплены уголками жесткости $100 \times 100 \times 10 \text{ м.м.}$

Вѣсъ такого кольца 4 тыс. килогр.

Вѣсь сооруженія башни съ резервуаромъ безъ воды:

$$Q_1 = 12800 + 26000 + 4000 = 42800 \text{ килогр.} = 42.8 \text{ тонны.}$$

Моментъ отъ вѣса башни:

$$M = 42800 \cdot \frac{a}{2} = 262364 \text{ килогр.} \cdot \text{метр.} > M_s,$$

гдѣ $a = 40,33$ фута $= 12,26$ метр. — діаметръ окружности. по которой расположены болты остова.

Коэффициентъ устойчивости

$$M : M_s = 262364 : 241974 = 1,08,$$

слѣдовательно башня даже при ненаполненномъ водой резервуарѣ представляетъ собою вполне устойчивое сооруженіе и фундаментные болты не работаютъ на растяженіе.

Наибольшее возможное давленіе на одинъ кв. сант. грунта около 2 килогр.

Коэффициентъ легкости этого сооруженія:

$$\mu = 42,8 : 410,548 = 0,104$$

т. е. значительно легче предыдущаго тина башни.

Какъ видно изъ фиг. 19—желѣзная башня имѣетъ фундаментную водонепроницаемую галерею, въ которой установлены всѣ необходимыя приспособленія и приборы для ея правильной эксплуатаціи.

Такъ какъ по предварительнымъ соображеніямъ башня проектировалась для Тюменскаго водопровода, гдѣ мѣсто установки ея по всѣмъ даннымъ топографіи мѣстности авторомъ проекта было намѣчено въ концѣ Спасской улицы, у Хлѣбной площади, т. е. въ противоположномъ концѣ отъ мѣста забора воды, (*) то она снабжена одной общей 10 дм. трубой, и слѣдовательно должна служить уравнительнымъ водоемомъ.

Сигнальная, она-же и сливная, труба установлена въ центрѣ винтовой лѣстницы, открываясь нижнимъ концомъ въ канализаціон-

(*) Предполагается заборъ воды изъ рѣки Туры, около мужского монастыря. Въ случаѣ-же подпочвенныхъ источниковъ, мѣсто которыхъ опредѣлить пока точно нельзя, безъ предварительныхъ гидрологическихъ и геологическихъ изысканій, весьма возможно, что уравнительный водоемъ башни изъ экономическихъ соображеній придется обратить въ водонапорный, для чего потребуется установка 2-й трубы, т. е. нагнетательной.

ный коллекторъ *B*—для отвода воды, въ случаѣ переполненія резервуара или во время его промывки.

Задвижки на трубахъ установлены съ такимъ расчетомъ, чтобы возможно было башню совершенно выключать изъ сѣти, когда въ этомъ встрѣтится необходимость и вода нагнетается черезъ воздушный колпакъ *A*—для сокращенія силы гидравлическихъ толчковъ. Колпакъ имѣетъ діаметръ 20 дм. и высоту 6¹/₂ футъ. Всѣ трубы башни снабжены сальниковыми компенсаторами у днища резервуара.

Всякое измѣненіе уровня воды въ резервуарѣ, кромѣ ртутнаго указателя въ галлерей башни, регистрируется автоматически на насосной станціи электрическимъ указателемъ системы *Otto P. Postel—Vinay—Carpentier*.

Учетъ воды, поступающей въ сѣть города, предполагалось производить при помощи трубы Вентури, включенной за воздушнымъ колпакомъ, съ обходнымъ контрольнымъ реактивнымъ водомѣромъ небольшого калибра. Подобная установка еще не получила достаточнаго распространенія на водопроводахъ русскихъ городовъ, не смотря на большія ея преимущества.

Дѣйствительно: водомѣры малыхъ калибровъ всегда чувствительнѣе и дешевле большихъ и слѣдовательно помѣщеніе реактивныхъ водомѣровъ на обходѣ трубы Вентури надо считать болѣе целесообразнымъ, чѣмъ непосредственное включеніе большихъ водомѣровъ на магистрали. Вмѣстѣ съ тѣмъ подобное расположеніе водомѣра даетъ еще то преимущество, что въ случаѣ порчи механизма контрольнаго водомѣра или въ случаѣ его провѣрки, его можно снять не прекращая движенія воды въ сѣти; для этого нужно лишь закрыть проходные краны обхода, до и послѣ водомѣра, и отвинтить его соединительные штуцера. Кромѣ того, водопроводъ можетъ располагать всегда, безъ большихъ затратъ, запасными контрольными водомѣрами и слѣд. можетъ не прекращать учета воды, чего нельзя сдѣлать при непосредственномъ включеніи въ магистраль большого водомѣра, требующаго при его снятіи разборки самой магистрали.

Вентиляція резервуара производится при помощи двухъ люковъ на его верхней площадкѣ и пустотѣлыхъ стоекъ ея рѣшетки.

Для предохраненія отъ ударовъ молніи—башня снабжена громоотводомъ. Наконечникъ громоотводнаго шпиль представляетъ собой бронзовый полый цилиндръ съ 3-мя приѣмными иглами. Весь цилиндръ позолоченъ, а конецъ его большой иглы покрытъ платиновой шляпкой для защиты острія отъ химическаго дѣйствія и навленія. Къ громоотводному шпилью наконечникъ приѣмника надѣвается нижнимъ полымъ концомъ и зажимается двумя винтами. Шпиль—пустотѣлый, мѣдный съ сѣченіемъ въ 75 кв. м.м. Нижний конецъ шпилья и три мѣдныхъ ваны укрѣплены непосредственно къ резервуару башни. Нижнее-же опорное кольцо остова башни снабжено мѣднымъ отводнымъ кабелемъ въ 75 кв. м.м., закрытымъ въ желѣзной трубкѣ; нижній конецъ его оканчивается цинковымъ листомъ, толщиною въ 3 м.м. и площадью въ 1,5 кв. метра. Отводный цинковый листъ предполагается засыпать въ колодезь мелкимъ коксомъ, что уменьшаетъ сопротивленіе заземленія и предохраняетъ его отъ разбѣданія ржавчиной. (*)

Такое устройство громоотвода—представляетъ собою непрерывную металлическую цѣпь,—(приѣмникъ, шпиль, башня и отводной кабель съ заземленіемъ), для кратчайшаго отвода разрядовъ электричества.

Пространство, находящееся подъ защитой этого громоотвода, опредѣляется обыкновенно, какъ копусъ, вершина котораго совпадаетъ съ остріемъ иглы приѣмнаго цилиндра, а радіусъ площади основанія конуса равенъ его высотѣ. (**)

Какъ остовъ башни, такъ и резервуаръ предполагалось по смѣтѣ окрасить преолитомъ, послѣ обивки окалины желѣза пескоструйнымъ аппаратомъ и послѣ прочной загрунтовки.

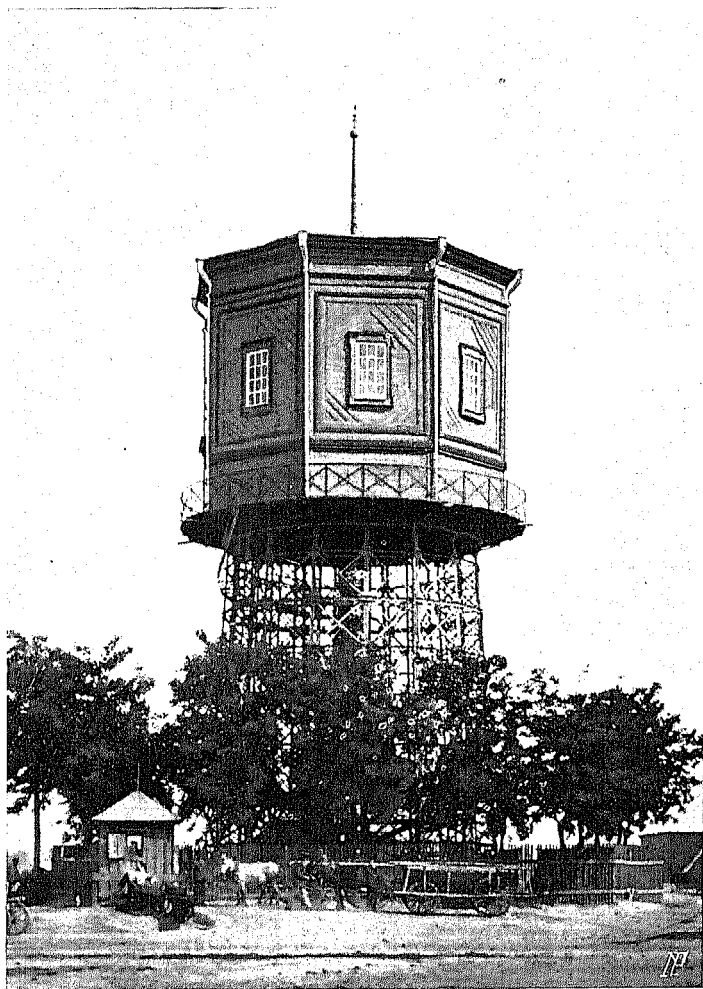
(*) Если колодезь для цинковой отводной пластины представится возможнымъ вырыть до постоянно влажнаго грунта, то тогда площадь пластины можно уменьшить въ три раза и не дѣлать коксовой засыпки.

(Руководящія указанія относительно защиты сооружений отъ молніи—см. „Правила и нормы. для электр. устройствъ сильныхъ токовъ“. Изд. 2-е 1908 г. стр. 184).

(**) Findeisen—пространство, находящееся подъ защитой громоотвода опредѣляется, какъ параболоидъ, образующая котораго выражается уравненіемъ $y^2 = 8x$.

При этомъ наибольшая площадь, защищаемая однимъ шпилемъ громоотвода, не превосходитъ площади круга діаметромъ въ $2y = 32$ метра.

Изъ уравненія $y^2 = 8x$, находимъ высоту острія шпилья $x = 32$ метра.



Фиг. 20.

Желѣзная уравнильная башня Херсонскаго водопровода.

(По проекту инж. А. П. Лормана).

Желѣзная уравнивательная башня Херсонскаго водопровода съ резервуаромъ полезной емкости на 42500 вед. воды.

Водопроводъ гор. Херсона, питающійся фильтрованной водой изъ р. Днѣпра, съ самаго основанія и до настоящаго времени принадлежитъ Д. А. Пастухову. Построенъ онъ еще 25 лѣтъ тому назадъ, и теперь развилъ свою эксплуатацію настолько, что въ 1908 году полный годовой расходъ воды выразился почти въ 64 милліона ведеръ, съ максимумомъ суточного разбора въ 310 тысячъ и минимумомъ—110 тысячъ ведеръ воды, обслуживая 30-ти верстной уличной сѣтью магистральныхъ трубъ 60 тысячъ человѣкъ, т. е. 80% настоящаго его населенія.

Съ самаго начала своей эксплуатаціи Херсонскій водопроводъ имѣлъ резервуарную систему подачи воды, пользуясь сооруженной тогда-же, по проекту инж. А. И. Лормана, желѣзной уравнивательной башней съ резервуаромъ емкостью въ 42500 ведеръ.

Какъ водопроводъ, такъ и его желѣзная башня были сооружены исключительно изъ свободныхъ запасовъ матеріаловъ чугуно-плавильнаго и желѣзо-дѣлательнаго завода Д. А. Пастухова въ Сүлинѣ.

Въ техническо-конструктивномъ отношеніи остовъ башни Херсонскаго водопровода (фиг. 20) представляетъ собою 16 вертикальныхъ фермъ, или устоевъ, установленныхъ радіально, и перевязанныхъ 7-ю горизонтальными внутренними и 7-ю горизонтальными наружными кольцами (фиг. 21).

Каждый устой представляетъ собой высокую прямоугольную трапецію, у которой основаніе равно 3 ф., параллельная основанію сторона—2 ф., перпендикулярная къ основанію сторона трапеціи или высота—42 фута и наклонная сторона—42,012 фута. Большія стороны трапеціи собраны изъ двухъ уголковъ $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм. каждая. Каждый такой трапецеидальный устой раздѣленъ по высотѣ уголками $2,5 \times 2,5 \times \frac{3}{8}$ дм. на 14 частей, каждая съ раскосами изъ полосового желѣза $2\frac{1}{2}$ дм. $\times \frac{3}{8}$ дм.

Горизонтальные кольца остова, какъ внутреннія, такъ и наружныя, слѣдующихъ поперечныхъ размѣровъ:

1-е кольцо—изъ уголка $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм.

2-е » » 2-хъ уголковъ $2 \times 2 \times \frac{3}{8}$ дм. и полосы $6 \times \frac{3}{8}$ дм.

3-е » » уголка $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм.

4-е » » 2-хъ уголковъ $2 \times 2 \times \frac{3}{8}$ дм и полобы $6 \times \frac{3}{8}$ дм.

и т. д., словомъ оба профиля колець чередуются между собою.

Между горизонтальными кольцами устон остова связаны, съ наружной и внутренней сторонъ, раскосами изъ полосового желѣза $2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ дм. (фиг. 21).

Такой остовъ башни упирается на фундаментъ двумя 16-ти угольными опорными кольцами, состоящими каждый изъ одного уголка $5 \times 3 \times \frac{1}{2}$ дм. Опорныя кольца прикрѣплены къ фундаменту 16 болтами каждый.

Окружность расположенія наружныхъ болтовъ имѣетъ діаметръ въ 35 футъ, а діаметръ круглаго фундамента башни 41 футъ.

Въ центрѣ остова башни установлена, во всю высоту башни, до дна резервуара, ажурная круглая колонна, собранная изъ 16 уголковъ $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм., перевязанныхъ черезъ каждыя $1\frac{1}{2}$ арш. горизонтальными кольцами изъ уголковъ того-же размѣра. Колонна эта имѣетъ діаметръ около $1\frac{1}{2}$ арш. Уголки колонны и устон остова башни въ нѣсколькихъ мѣстахъ соединены горизонтальными тягами изъ круглаго желѣза. Въ верхней части уголки колонны и устон остова связаны радіально рѣшетчатыми горизонтальными балками, на которыхъ установленъ желѣзный резервуаръ и 8-гранный деревянный навильонъ. Наружные концы этихъ рѣшетчатыхъ балокъ заканчиваются 16-ю консолями, на которыхъ настантъ полъ балкона.

Резервуаръ съ плоскимъ дномъ, діаметра 29 футъ и высоты 28 футъ Толщина стѣнокъ его:

1-й, 2-й и 3-й листы — по $\frac{3}{16}$ дм.

4-й, 5, 6 и 7-й » » $\frac{1}{4}$ »

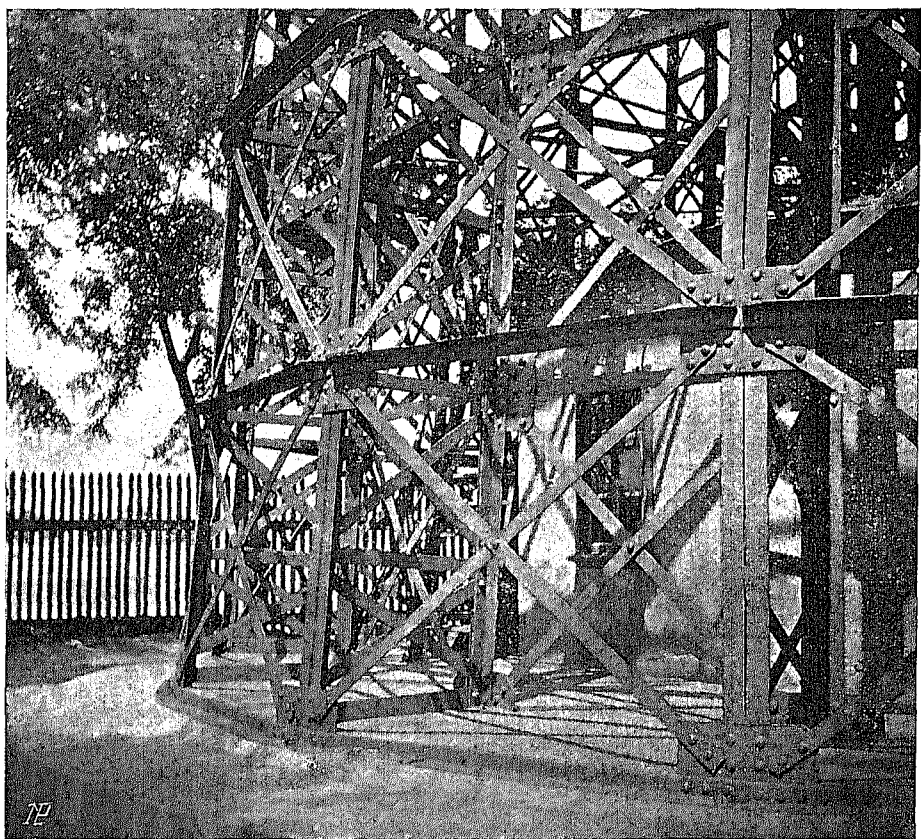
8-й » » » — $\frac{5}{16}$ »

Днище » » » — $\frac{5}{16}$ »

Нижняя часть нижнего листа резервуара съ дномъ склепана при помощи внутренняго уголка жесткости $4 \times 4 \times \frac{1}{2}$ дм.; а верхняя кромка резервуара имѣетъ наружный уголокъ жесткости $3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ дм.

Резервуаръ снабженъ въ нижнемъ вѣнцѣ лазомъ котельнаго тина и отвѣсною стремяной лѣстницей до самаго верха.

Труба нагнетательная и въ то-же время разводящая—имѣетъ внутренній діаметръ въ 9 дм. и направляется къ резервуару внутри центральной колонны. Вѣстовая-же труба въ 4 дм. идетъ отъ верхняго края резервуара, вдоль наружнаго края устоя башни, до земли.



Фиг. 21.

Нижняя часть остова желѣзной башни Херсонскаго водопровода.

(Въ 1 : 25 натур. величины).

Въ виду того, что Херсонскій водопроводъ питается фильтрованной рѣчной водой, то температура ея зимой достигаетъ -0°R , но не смотря на низкую температуру она не замерзаетъ, благодаря постоянному своему движенію, устройству деревяннаго навильона, оштукатуреннаго внутри по войлоку и изоляціи трубы на всемъ протяженіи высоты башни.

Сообщеніе балкона навильона башни съ землей совершается при помощи винтовой чугунной лѣстницы, укрѣпленной къ угламъ ажурной колонны. Въ верхней части остова, на высотѣ 5 саж., винтовая лѣстница переходитъ въ горизонтальный мостикъ, ведущій къ наружной сторонѣ устоевъ остова и къ небольшой желѣзной лѣстницѣ балкона.

Въ центрѣ башни, внизу, устроена 8-гранная сторожевая будка, въ которой установленъ ртутный указатель уровня воды въ резервуарѣ и телефонъ.

Фундаментъ башни сплошной, круглый, изъ мѣстнаго известняковаго камня, на цементномъ растворѣ, заложенный на глубину $2\frac{1}{2}$ арш. Труба башни заложена въ фундаментъ наглухо.

Не смотря на свое 25-лѣтнее существованіе, башня въ настоящее время еще оправдываетъ свое назначеніе, что видно изъ слѣдующихъ данныхъ:

$V = 0,25. Q = 0,25. \frac{64.000.000}{365} = 43835$ ведеръ, т. е. немного больше дѣйствительной емкости резервуара въ 42500 ведеръ.

Въ недалекомъ будущемъ Херсонскому водопроводу придется усилить емкость резервуара установкой контръ-башни, которая значительно увеличитъ пропускную способность сѣти.

При башнѣ устроена деревянная водоразборная будка.

Все сооруженіе обнесено деревянной оградой, засаженной деревьями (фиг. 20.).

Желѣзная водонапорная башня Николаевского городского водопровода съ резервуаромъ полезной емкости на 50 тыс. вед. воды.

Николаевскій городской водопроводъ, питающійся подпочвенной водой при помощи колодезѣ съ подземными водосборными галлереями и буровыми 4 дм. скважинами, принадлежитъ Городскому Общественному Управленію и имѣетъ резервуарную систему подачи воды. Эксплоатація водопровода была начата еще во время его постройки 1 Апрѣля 1906 года.

Въ настоящее время, а именно въ 1909 году—подача воды изъ дѣйствующихъ колодезѣ № 2, 3, 3-bis и старого городского колодца (*) достигла почти 60 миллионѣ ведеѣ воды въ годъ, при наибольшемъ ея суточномъ разборѣ въ 250 тысячъ и наименьшемъ въ 64 тысячи ведеѣ, обслуживая 100-тысячное населеніе города 70-верстной разводящей сѣтью чугунныхъ трубъ, діам. отъ 3 до 12 дм

Вода изъ колодезѣ частью паровыми вертикальными насосами «Дуплексъ-Компаундъ», а главнымъ образомъ электрическими пяти-камерными центробѣжными насосами высокаго давленія—нагнетается по двумъ отдѣльнымъ водоводамъ непосредственно въ резервуаръ желѣзной водонапорной башни, преодолевая наибольшее сопротивленіе до 315 футовъ водяного столба. Изъ резервуара-же башни, вода подается 12 дм. разводящей трубой и двумя ея отвѣтвленіями, по 10 дм.—каждое, въ кольцевую 10-ти дюймовую магистраль города.

Какъ ранѣе упоминалось, желѣзная водонапорная башня на Николаевскомъ водопроводѣ построена по проекту инженера В. Г. Шухова Московскимъ заводомъ А. В. Бари, при главномъ инженерѣ по постройкѣ водопровода Н. В. Чумаковѣ (фиг. съ 22 до 30-й). (**)

(*) Колодезь № 1, во дворѣ Гоголевской школы, вслѣдствіе незначительности своего суточного дебита, не включенъ въ общую сѣть нагнетательныхъ водоводѣ городского водопровода, а служить для надобностей школы и какъ водоразборъ для бѣднѣйшей части населенія того района.

Колодезь № 5 открытъ для эксплоатаціи въ апрѣлѣ 1910 года и включенъ въ общій 8 дм. водоводъ сосѣдняго колодца № 2.

(**) Вслѣдствіе тождественности сборки гиперболоидальныхъ башенъ сист. ниж. В. Г. Шухова и устройства подмостей и лѣсовъ—помѣщаемъ ниже фотографическіе оттиски постепеннаго сооруженія только башни Николаевского водопровода, какъ самой тяжелой изъ прочихъ подобныхъ установокъ.

Ажурный остовъ башни представляетъ собою гиперболоидъ вращенія, сѣтчатая поверхность котораго собрана изъ 48 стоекъ изъ углового желѣза, профиля $5 \times 5 \times 0,5$ дм. внизу и $4,5 \times 4,5 \times 0,5$ дм. вверху, установленныхъ наклонно, взаимно пересѣкаясь, по образующимъ гиперboloида. Для большей прочности всѣ стойки перевязаны девятью горизонтальными кольцами, тоже изъ углового желѣза. Въ мѣстахъ взаимнаго пересѣченія, всѣ 48 уголковъ и 9 поперечныхъ колецъ склепаны между собою. Такимъ образомъ склепанная сѣтчатая поверхность гиперbолоидальнаго остова башни представляетъ собою одну обшую жесткую систему, прочно сопротивляющуюся силамъ, какъ отъ наибольшаго давленія вѣтра, такъ и отъ полной нагрузки наполненнаго водой резервуара.

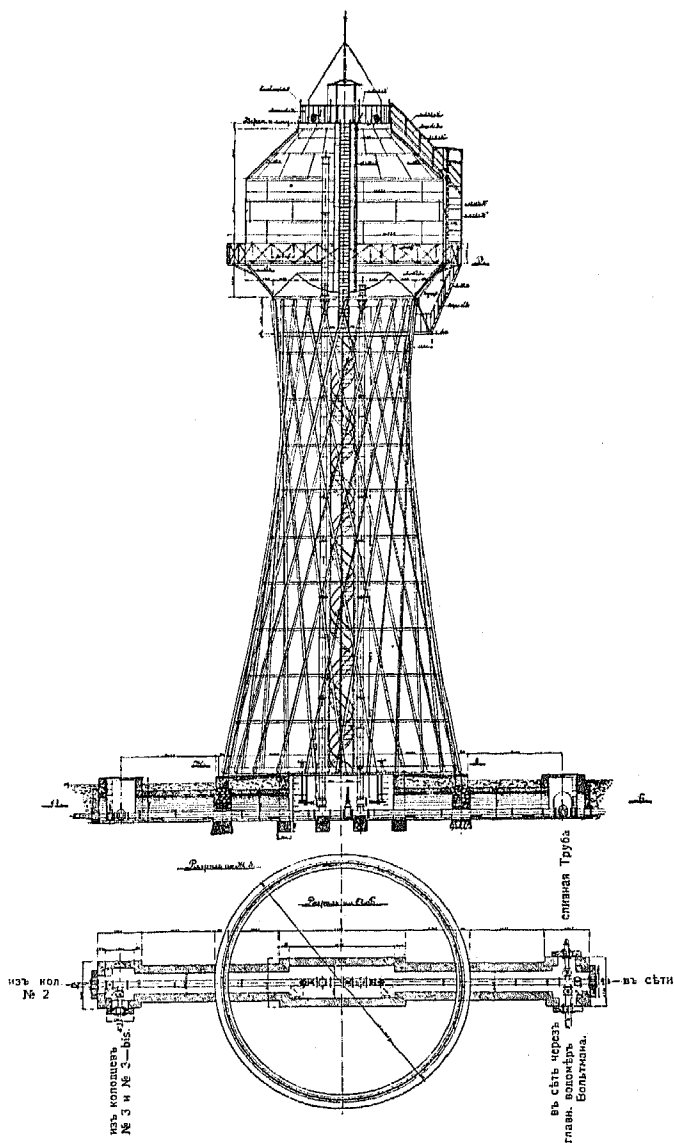
Остовъ башни, заканчивающійся внизу фундаментнымъ кольцомъ діаметра 42 фута, а вверху кольцомъ,—для установки резервуара, діаметра въ 23 фута, покоится на прочномъ кольцевомъ каменномъ фундаментѣ. Высота остова башни, отъ линіи обрѣза фундамента до глубокой точки резервуара—84 фута.

Въ центральной части остова башни расположена винтовая желѣзная лѣстница, укрѣпленная внизу къ своду фундаментной галлерей, а вверху—къ желѣзной площадкѣ, находящейся подъ сферическимъ днищемъ резервуара Инце.

Сообщеніе вершины башни съ поверхностью первой желѣзной площадки находящейся подъ днищемъ резервуара, достигается двумя стремяными лѣстницами, изъ которыхъ одна укрѣплена въ центральной клепанной желѣзной 42 дм. трубѣ (горловинѣ) резервуара, а другая идетъ параллельно его наружной стѣнки (фиг. 22)

Резервуаръ, окруженный желѣзнымъ балкономъ, помѣщается на верхнемъ желѣзномъ кольцѣ остова башни и состоитъ изъ трехъ главныхъ частей:

- 1) нижняго усѣченнаго конуса съ сферическимъ дномъ Инце, высотой 5 ф. 9 дм. и съ діаметрами въ 23 фута и 34,5 фута,
- 2) цилиндра—діаметра 34,5 фут. и высотой 15 ф. 9 дм.,
- 3) верхняго усѣченнаго конуса высотой 9 футъ и съ діаметрами 34,5 ф. и 16,5 фут.
- и 4) холостого цилиндра—діам. 16,5 футъ и высотой 1 фут



Фиг. 22.

Въ $\frac{1}{400}$ натур. величины.

Железная водонапорная башня Николаевского городского водопровода съ гипербоидаальнымъ остовомъ сист. инж. В. Г. Шухова и резервуаромъ
Инце—на 50 тысячъ ведеръ воды.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

При такихъ размѣрахъ полная емкость этихъ частей резервуара равна:

$$\begin{aligned}
 1. V_1 &= 3053,46 \text{ куб. фут.} \\
 2. V_2 &= 14571,45 \text{ " " } \\
 3. V_3 &= 4700,72 \text{ " " } \\
 4. V_4 &= 204,21 \text{ " " } \\
 \hline
 \Sigma V &= 22529,84 \text{ куб. фут. (*)}
 \end{aligned}$$

Такъ какъ отверстие сигнальной трубы открывается на 1 футъ ниже верха резервуара, то объемъ заполняющійся водой равенъ:

$$22529,84 \text{ куб. ф.} - 204,21 = 22325,63 \text{ куб. ф.} = 51349 \text{ ведеръ.}$$

При допускаемомъ напряженіи матеріала въ 325 нуд на 1 кв. дм. сѣченія и при коэффициентѣ ослабленія швовъ въ 0,75—толщины листовъ приняты слѣдующія:

а) верхній конусъ резервуара	$\delta = \frac{3}{16}$ дм.
б) первый и второй пояса цилиндрической части	$\gg \frac{3}{16} \gg$
в) третій поясъ	$\gg \gg \frac{7}{32} \gg$
г) четвертый поясъ	$\gg \gg \frac{9}{32} \gg$
е) нижній конусъ резервуара	$\gg \frac{3}{8} \gg$
ф) шаровое днище	$\gg \frac{1}{4} \gg$

Въ шаровомъ днищѣ швы одинарные, коэффициентъ ослабленія листовъ отверстиями для заклепокъ — 0,6, слѣдовательно дѣйствительное напряженіе не должно превосходить

$$0,6 \cdot 325 = 195 \text{ пуд. на кв. дм.}$$

Въ дѣйствительности это напряженіе равно:

$$R = \frac{R_0}{2} \cdot \frac{H \cdot \gamma}{12 \cdot \delta} = \frac{5,75 \cdot 30,5 \cdot 1,728}{12 \cdot \frac{1}{4}} = 101 \text{ пудъ на кв. дм.}$$

Желѣзная башня Николаевского водопровода является самой большой по емкости своего резервуара, гиперболоидальной башней и безусловно заслуживающей вниманія, поэтому ниже подробнѣе рассмотримъ ее, какъ со стороны технической, такъ и эксплуатаціонной.

(*) Емкость центральной горловины резервуара, какъ незаполняющаяся водой, выключена изъ подсчета общей емкости.

1. Расчетъ башни.

Расчетъ башни въ отношеніи ея устойчивости и прочности размѣровъ ея отдѣльных частей разобьемъ на два основныхъ подсчета:

- 1) на подсчетъ отъ вліянія давленія вѣтра на резервуаръ и
- 2) на подсчетъ отъ вліянія давленія пѣтра на остовъ.

Какъ ниже увидимъ, при давленіи вѣтра въ 1 пудъ на кв. футъ поверхности всего сооруженія, наибольшее напряженіе матеріала для остова башни не превышастъ 875 килогр. на кв. сан. или 350 пуд на кв. дм.

Полное давленіе вѣтра на резервуаръ—выражается въ видѣ произведеніи давленія на единицу площади на площадь проекціи боковой поверхности (на плоскость перпендикулярную къ направленію вѣтра). Дѣйствительно:

Площадь проекціи боковой поверхности четырехъ отдѣльных частей резервуара будетъ:

$$\omega = 165,31 + 543,38 + 229,5 + 16,5 = 954,69 \text{ кв. фут.}$$

Полное давленіе вѣтра:

$$P = 116,88 + 543,38 + 162,25 + 16,5 = 839,01 \text{ пуд.}$$

Такъ какъ это давленіе нормально къ цилиндрической поверхности резервуара, то вводимъ коэффициентъ 0,667, т. е.

$$P_1 = \alpha \cdot P = 0,667 \cdot 839,01 = 560 \text{ пуд.}$$

Изъ уравненія моментовъ площадей относительно горизонтальной оси, проходящей черезъ глубокую точку резервуара, находимъ h — разстояніе центра приложенія усилія отъ вѣтра P_1 отъ этой оси:

$$h = 15 \text{ фут.}$$

Давленіе вѣтра на 1 футъ высоты поверхности 48 уголковъ остова башни, считая отъ резервуара до 5-го горизонтальнаго кольца, на каковомъ протяженіи стойки—изъ уголковъ $4,5 \times 4,5 \times 0,5$ дм., равно:

$$p = 1 \cdot \frac{4,5}{12} \cdot 48 = 18 \text{ пуд.,}$$

а отъ 5-го кольца до фундамента, при уголкахъ остова $5 \times 5 \times 0,5$ дм.

$$p_1 = 1 \cdot \frac{5}{12} \cdot 48 = 20 \text{ пуд.}$$

Разбивая остовъ на десять частей девятью горизонтальными кольцами, находимъ величины соответствующихъ ломающихъ моментовъ каждаго сѣченія по формулѣ:

$$M_{\text{макс.}} = P_1 \cdot (h + x) + \frac{p \cdot x^2}{2}$$

Для сѣченія, отстоящаго отъ дна резервуара на разстояніи

$$x = 9,3 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot (15 + 9,3) + \frac{18,9,3,9,3}{2} =$$

$$= 14387 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 9,3 + 7,9 = 17,2 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot (24,3 + 7,9) + 9,17,2,17,2 =$$

$$= 20695 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 17,2 + 8,2 = 25,4 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 40,4 + 9,25,4,25,4 =$$

$$= 28430 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 25,4 + 8,2 = 33,6 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 48,6 + 9,33,6,33,6 =$$

$$= 37377 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 33,6 + 8,2 = 41,8 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 56,8 + 9,41,8,41,8 =$$

$$= 47533 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 41,8 + 8,2 = 50 \text{ ф.} \quad M = 560,65 + 18,41,8 \cdot \left(\frac{41,8}{2} + 8,2 \right) +$$

$$+ 20 \cdot \frac{8,2,8,2}{2} = 58967 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 50 + 8,2 = 58,2 \text{ ф.} \quad M = 560,73,2 + 752,4 \cdot (20,9 + 16,4) +$$

$$+ 10,16,4,16,4 = 71746 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 58,2 + 8,2 = 66,4 \text{ ф.} \quad M = 560,81,4 + 752,4 \cdot 45,5 +$$

$$+ 10,24,6,24,6 = 85870 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 66,4 + 8,2 = 74,6 \text{ ф.} \quad M = 560,89,6 + 752,4 \cdot 53,7 +$$

$$+ 10,32,8,32,8 = 101338 \text{ пудо-фут.}$$

$$,, = 74,6 + 9,4 = 84 \text{ ф.} \quad M = 560,99 + 752,4 \cdot 63,1 +$$

$$+ 10,42,2,42,2 = 120725 \text{ пудо-фут.}$$

Усиліе отъ дѣйствія соответствующаго, найденнаго выше, ломающаго момента, изъ условія прочности на изгибъ

$$t = \omega \cdot R = \frac{M}{\pi \cdot r}$$

равно:

$$\text{Для сѣченія на разстояніи: } x=9,3 \text{ ф. } t=\omega \cdot R = \frac{14387}{24,11,5} = 53 \text{ пуд.;}$$

гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 11,5 ф.

$$\text{Для сѣченія на разстояніи: } x=17,2 \text{ ф. } t=\omega \cdot R = \frac{20695}{24,11} = 80 \text{ пуд.;}$$

гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 11 ф.

$$\text{Для сѣченія на разстояніи: } x=25,4 \text{ ф. } t=\omega \cdot R = \frac{28430}{24,11,25} = 105 \text{ пуд.;}$$

гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 11,25 ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=33,6$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{37377}{24.11,9} = 130$ пуд.;
 гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 11,9 ф.
 Для сѣченія на разстояніи: $x=41,8$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{47533}{24.12,8} = 155$ пуд.;
 гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 12,8 ф.
 Для сѣченія на разстояніи: $x=50$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{58967}{24.14,1} = 175$ пуд.;
 гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 14,1 ф.
 Для сѣченія на разстояніи: $x=58,2$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{71746}{24.15,6} = 197$ пуд.;
 гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 15,6 ф.
 Для сѣченія на разстояніи: $x=66,4$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{85870}{24.16,85} = 212$ пуд.;
 гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 16,85 ф.
 Для сѣченія на разстояніи: $x=74,6$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{101338}{24.19} = 223$ пуд.;
 гдѣ r радіусъ круга, по которому расположены уголки, равный 19 ф.
 Для сѣченія на разстояніи: $x=84$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{120725}{24.21} = 240$ пуд.;
 гдѣ r радіусъ круга по которому расположены уголки, равный 21 ф.

Усиліе на одинъ уголокъ стойки остова отъ вѣса воды въ резервуарѣ и собственнаго вѣса послѣдняго:

$$q = \frac{0,750.51349 + 2500 (*)}{48} = \infty 855 \text{ пудовъ.}$$

Собственный вѣсъ остова башни 3225 пудовъ, слѣдовательно давленіе на каждый уголокъ остова отъ 1 фута высоты башни можно принять равнымъ:

$$q_1 = \frac{3225}{48.84} = 0,8 \text{ пуда.}$$

Такимъ образомъ общее наибольшее усиліе ожатія уголка остова, для каждого разсматриваемаго сѣченія башни, равно:

$$\begin{array}{lcl} x = 9,3 \text{ ф. } Q = 53 + 855 + 0,8. 9,3 = 915,44 \text{ пуда} \\ „ = 17,2 \text{ ф. } „ = 80 + 855 + 0,8.17,2 = 948,76 „ \\ „ = 25,4 \text{ ф. } „ = 105 + 855 + 0,8.25,4 = 980,32 „ \\ „ = 33,6 \text{ ф. } „ = 130 + 855 + 0,8.33,6 = 1011,88 „ \\ „ = 41,8 \text{ ф. } „ = 155 + 855 + 0,8.41,8 = 1043,44 „ \\ „ = 50 \text{ ф. } „ = 175 + 855 + 0,8.50 = 1070 „ \\ „ = 58,2 \text{ ф. } „ = 197 + 855 + 0,8.58,2 = 1098,56 „ \\ „ = 66,4 \text{ ф. } „ = 212 + 855 + 0,8.66,4 = 1120,12 „ \end{array}$$

(*) Собственный вѣсъ резервуара съ лѣстницами и трубами 2500 пуд.

$$x = 74,6 \text{ ф. } Q = 223 + 855 + 0,874,6 = 1137,68 \text{ пуд.}$$

$$,, = 84 \text{ ф. } ,, = 240 + 855 + 0,884 = 1162,20 \text{ ,,}$$

Разсматривая уголки остова, какъ отдѣльно стоящія стойки, подвергающіяся продольному изгибу, при свободной длинѣ, равной въ каждомъ случаѣ вертикальному разстоянію x , между горизонтальными кольцами, вводимъ коэффициентъ уменьшенія основного напряженія по формулѣ Ранкина и Шварца:

$$\varphi = \frac{1}{1 + \mu \cdot l^2 \cdot \frac{\omega}{I}}$$

Эта формула взята для большей надежности подсчета, такъ какъ она опредѣляетъ коэффициентъ φ равный $\frac{Q}{\omega \cdot R}$ при сжатіи стойки съ незакрѣпленными концами; въ разсматриваемомъ случаѣ при цѣлыхъ уголкахъ и закрѣпленіи ихъ при пересѣченіи горизонтальными кольцами, отдѣльную часть длины уголка остова можно разсматривать, какъ стойки съ закрѣпленными концами и дѣйствительное напряженіе поперечнаго сѣченія уголка будетъ значительно менѣе опредѣленнаго.

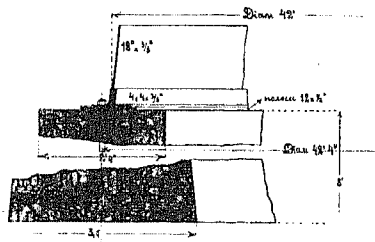
Въ прилагаемой здѣсь таблицѣ указаны для каждого сѣченія остова башни какъ величины коэффициентовъ φ , такъ и допускаемыя и дѣйствительныя напряженія.

Таблица допускаемыхъ и дѣйствительныхъ напряженій въ уголкахъ остова башни.

Мѣс- то- сѣ- че- нія	Коэффиц. μ	l въ дюйм.	Площадь попе- речн. сѣченія уголка: ω въ кв. дм.	Моментъ инер- ціи сѣченія I	Коэф. φ	Допускаемое напряженіе въ пуд. на кв. дм. $R \cdot \varphi$	Дѣйствительное напряженіе въ пуд. на кв. дм. $Q : \omega$	Запасъ напря- женія въ стой- кахъ, въ пуд. на кв. дм.
1	0,00008	9,3,12=111,6	4,27	7,95	0,65	350.0,65=227	915,44:4,27=215	12
2	"	94,8	4,27	7,95	0,72	252	222	30
3	"	98,4	4,27	7,95	0,71	248	230	18
4	"	98,4	4,27	7,95	0,71	248	237	11
5	"	98,4	4,27	7,95	0,71	248	244	4
6	"	98,4	4,77	11,10	0,75	262	224	38
7	"	98,4	4,77	11,10	0,75	262	230	32
8	"	98,4	4,77	11,10	0,75	262	234	28
9	"	98,4	4,77	11,10	0,75	262	239	23
10	"	112,8	4,77	11,10	0,70	245	243	2

Изъ таблицы усматриваемъ, что въ каждомъ сѣченіи остова башни дѣйствительныя напряженія отъ общихъ наибольшихъ усилий сжатія уголковъ значительно менѣе допускаемыхъ и слѣдовательно гиперболоидальный остовъ башни можно считать достаточно жесткимъ и прочнымъ.

Остовъ водонапорной башни прикрѣпленъ къ опорному желѣзному клепанному кольцу (фиг. 23), закрѣпленному къ фундаменту 24 болтами діам. $1\frac{1}{8}$ дм.



Фиг. 23.

Вѣсъ опорнаго кольца 300 пуд., слѣдовательно вѣсъ всего сооруженія съ ненаполненнымъ водою резервуаромъ:

$$3225 + 2500 + 300 = 6025 \text{ пудовъ.}$$

Моментъ отъ вѣса башни (фиг. 23)

$$M = \frac{6025 \cdot 42 \frac{1}{3}}{2} = 127529 \text{ пудо-фут.}$$

т. е. болѣе наибольшаго момента отъ давленія вѣтра, равнаго 120725 пудо-фут.

Коэффициентъ устойчивости башни 1,056.

При допускаемомъ напряженіи въ 600 килогр. на кв. сан. или 236 пуд. на кв. дм.—фундаментный болтъ можетъ выдержать усилие

$$K = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 236 = \frac{3,14 \cdot 1\frac{1}{8} \cdot 1\frac{1}{8} \cdot 236}{4} = 234,5 \text{ пудовъ.}$$

Какъ видно изъ фиг. 23-й средній діаметръ опорнаго кольца равенъ 42 фут. и слѣдовательно длина окружности

$$a = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 42 = 131,88 \text{ фута.}$$

Давленіе на одинъ погонный футъ длины окружности опорной полосы, шириной въ 1 футъ, равно общему наибольшему усилию сжатія 48 уголковъ остова, раздѣленному на площадь опорной полосы фундаментнаго кольца, т. е.

$$\frac{48 \cdot Q}{1 \cdot a} = \frac{48 \cdot 1162,20}{1 \cdot 131,88} = 423 \text{ пуда}$$

или на одинъ кв. дм. кладки фундамента:

$$423 : 144 = 2,91 \text{ пуда.}$$

Объемъ одного погоннаго фута длины фундамента равенъ:
(фиг. 23).

$$\frac{1}{2} \cdot (2\frac{1}{8} + 3\frac{1}{2}) \cdot 8 \cdot 1 = 23,3 \text{ куб. фута,}$$

а вѣсъ:

$$3 \times 23,3 = \approx 70 \text{ пуд.}$$

Наибольшее возможное давленіе на 1 кв. дм. грунта

$$T = \frac{423 + 70}{3,5 \cdot 12 \cdot 12} = 0,978 \text{ пуда.}$$

2. Оборудование башни.

Водонапорная башня Николаевского городского водопровода оборудована громоотводомъ, вентиляторами, переливной желѣзной трубой діам. 5 дм., идущей во всю высоту башни—для отвода лишней воды за каменную ограду башни и указателями измѣненія уровня воды въ резервуарѣ. Послѣдніе приборы заключаются:

1) Въ дубовомъ, составленномъ изъ трехъ осмоленныхъ дисковъ, поплавкѣ съ цѣпью, передаточными роликами и желѣзнымъ уравнивающимъ поплавкомъ грузомъ, передвигающимся, по мѣрѣ измѣненія уровня воды въ резервуарѣ, по вертикально-установленной измѣрительной шкалѣ.

2) Въ пневматическомъ гидрометрѣ, состоящемъ изъ открытаго снизу сосуда (колокола), установленнаго на днѣ резервуара башни и соединеннаго съ нимъ, посредствомъ мѣдной мягкой трубки, манометра, находящагося внизу остова башни. Вода резервуара сжимаетъ воздухъ подъ колоколомъ, а такъ какъ это давленіе измѣняется съ повышеніемъ или пониженіемъ уровня, то всякое малѣйшее колебаніе отзывается измѣненіемъ упругости воздуха подъ колоколомъ, что и указывается манометромъ, шкала котораго градуирована соотвѣтствующимъ образомъ, позволяющимъ прочесть, какъ высоко стоитъ вода въ резервуарѣ башни. (*)

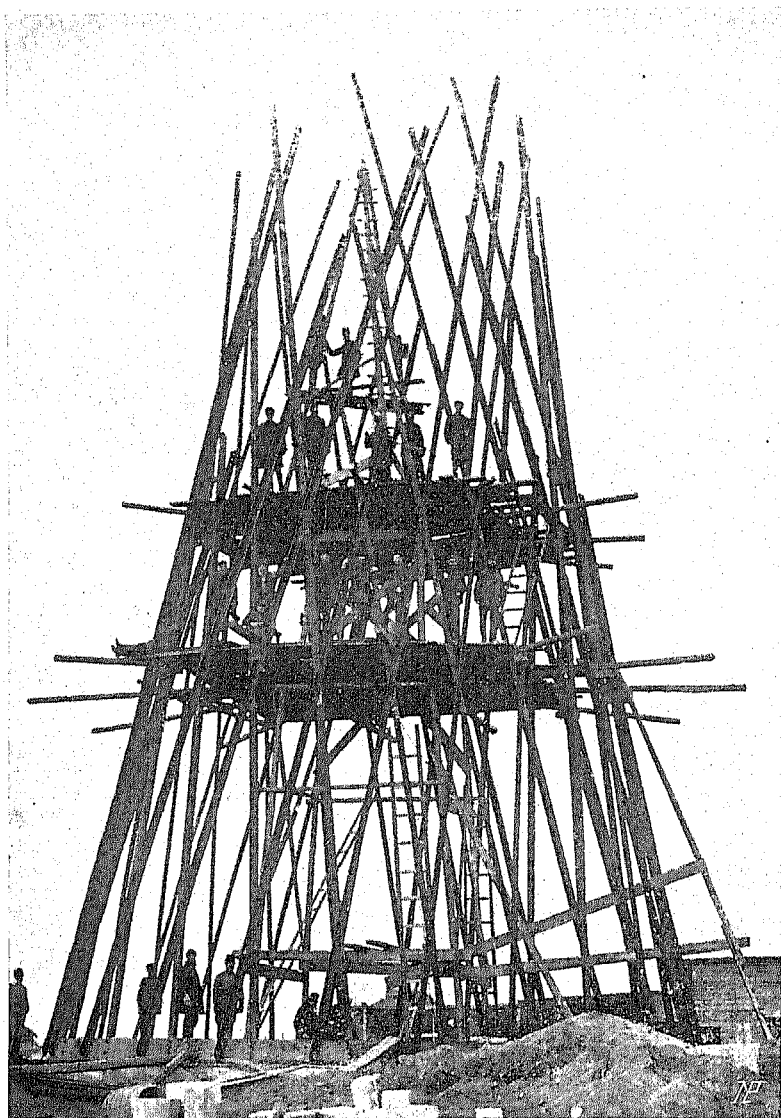
3) Въ контрольномъ манометрѣ, установленномъ въ сторожевомъ домѣ башни.

4) Въ электрическомъ сигнализаторѣ измѣненій уровня воды въ резервуарѣ патента «Л. М. Эриксоиъ и К^о» съ діаграмнымъ авто-

(*) При устройствѣ гидрометра-манометръ со стрѣлкой можетъ быть замѣненъ и ртутнымъ. Для исправной и точной работы гидрометра необходимо, чтобы соединительная трубка совершенно не пропускала воздуха.



Фиг. 24.
Разбивка фундаментного кольца водонапорной башни Николаевского
городского водопровода.
1906 г.



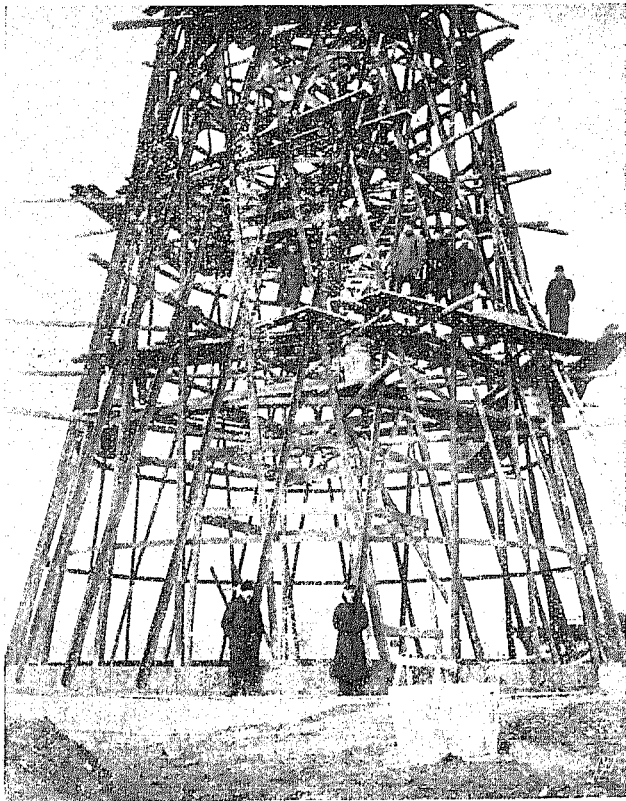
Фиг. 25.

Предварительная сборка на болты остова башни Николаевского водопровода.

1906 г.

матическимъ регистраторомъ, установленномъ за 2 версты отъ башни, въ машинномъ зданіи городской электрической освѣтительной станціи, отъ агрегатовъ которой подается энергія къ моторамъ электрическихъ центробѣжныхъ насосовъ колодцевъ водопровода.

Что касается трубъ башни, то вначалѣ предполагалась одна 12 дм. желѣзная труба, которая должна была служить, какъ для



Фиг. 26.

Сборка нижней части остова и горизонтальныхъ коленъ башни Николаевского водопровода.

нагнетанія изъ колодцевъ воды, такъ и для отвода ея въ разводящую сѣть трубъ города.

При такомъ способѣ подачи воды, когда излишекъ ея противъ расхода воды въ сѣти — долженъ былъ нагнетаться въ высо-

кій резервуаръ башни, величина напора въ нагнетательныхъ трубахъ дѣйствующихъ насосовъ была-бы переменная и колебалась-бы большей частью въ широкихъ предѣлахъ, что весьма нежелательно для установленныхъ въ колодцахъ *электрическихъ центробѣжныхъ* насосовъ высокаго давленія, работающихъ экономично, т. е. съ нормальнымъ коэффициентомъ полезнаго дѣйствія, только при постоянномъ напорѣ и при постоянной скорости вращенія своихъ турбинъ.

Въ виду этихъ соображеній, а также и вслѣдствіе того, что водонапорная башня установлена сравнительно недалеко отъ водосборныхъ колодцевъ и въ началѣ сильно-развитой городской сѣти, гдѣ ожидался наибольшій разборъ воды,—рѣшено было установить вторую 12 дм. желѣзную трубу—исключительно для нагнетанія воды, т. е. башня должна была играть роль исключительно водонапора, а не уравнителя.

Обѣ 12 дм. трубы, при входѣ въ дно (*) резервуара башни, снабжены компенсаціонными сальниками, установка которыхъ была вызвана большою деформаціей башни отъ измѣненія температуры ея матеріала и нагрузки, что можно подтвердить слѣдующимъ подсчетомъ.

Дѣйствительно, вертикальныя 12 дм. трубы башни, имѣя внутри воду, на протяженіи 12,25 саж. или 26,10 метр. покрыты изоляціоннымъ слоемъ, состоящимъ изъ войлока и пробковой массы, обшитой сосновыми досками, а потому температура матеріала трубъ отличается лѣтомъ и зимой незначительно; самый-же желѣзный остовъ башни лѣтомъ, подѣ дѣйствіемъ теплоты солнечныхъ лучей, можетъ нагрѣваться выше температуры окружающей среды.

Если допустить наибольшую температуру матеріала лѣтомъ въ 45° Ц., а зимой—20° Ц., то колебаніе температуры выражается въ разное время въ 65° Ц. При длинѣ каждой трубы въ 26,10 метр. и среднемъ линейномъ коэффициентѣ расширенія желѣза въ 0,000012—измѣненіе длины каждой трубы, независимо отъ нагрузки башни, будетъ

$$26,10 \cdot 0,000012 \cdot 65 = 0,0204 \text{ метр.} = 20,4 \text{ м.м.}$$

(*) Внизу компенсаторы ставить нераціонально, ибо въ этомъ случаѣ сферическое днище резервуара нагружается вѣсомъ трубъ.

Принимая въ соображеніе нагрузку башни, при наполненномъ до верха водою резервуарѣ, въ 38512 нуд., можно съ достаточной точностью подсчитать на основаніи данныхъ сопротивленія матеріаловъ, что удлиненіе прямо-пропорціонально нагрузкѣ

$$\lambda : l = k : E$$

гдѣ: k — прочное напряженіе матеріала — 8'75 килогр. на кв. сан.

E — модуль упругости желѣза 2000000 килогр. на кв. сан.

l — длина ноги остова башни 25,6 метра. Слѣдовательно сжатіе

$$\lambda = \frac{l \cdot k}{E} = \frac{25,6 \cdot 875}{2.000.000} = 0,0112 \text{ м.} = 11,2 \text{ м.м.}$$

Такъ какъ средняя температура воды $+ 11^{\circ}$ Ц., а температуру остова башни лѣтомъ допускаемъ $+ 45^{\circ}$ Ц., то разность температуръ трубъ и остова $+ 34^{\circ}$ Ц. и линейное расширеніе ногъ остова

$$25,6 \cdot 0,000012,34 = 0,0104 \text{ метр.} = 10,4 \text{ м.м.}$$

Полная деформація башни лѣтомъ отъ нагреванія и нагрузки:

$$11,2 + 10,4 = 21,6 \text{ м.м.}$$

Если температуру остова зимой допустить -20° Ц., то разность температуръ трубъ и остова будетъ:

$$+ 11^{\circ} - (-20^{\circ}) = 31^{\circ} \text{ Ц.,}$$

а линейное расширеніе ногъ башни

$$25,6 \cdot 0,000012,31 = 0,0095 \text{ метр.} = 9,5 \text{ мм.м.}$$

Полная деформація башни зимой отъ охлажденія и нагрузки будетъ:

$$11,2 + 9,5 = 20,7 \text{ мм.м.}$$

Изъ этихъ подсчетовъ видно, что наибольшая игра сальниковъ достигаетъ почти 22 м.м. Безъ компенсаціонныхъ сальниковъ означенная игра отражалась-бы на стыкахъ вертикальныхъ трубъ и вызвала-бы течь воды.

3. Электрическій указатель измѣненій уровня воды въ резервуаръ башни.

Основное оборудованіе водосборныхъ колодцевъ Николаевскаго городского водопровода составляютъ электрическіе центробѣжные насосы высокаго давленія, получающіе энергію отъ агрегатовъ центральной освѣтительной городской станціи. Подобная система требуетъ постояннаго наблюденія на станціи за измѣненіями уровня воды въ резервуарѣ водонапорной башни, что возможно было, для регулированія работы тѣхъ и другихъ агрегатовъ, достигнута

автоматической сигнализацией, соединяющей башню съ распределительной доской станціи.

Указатель уровня воды въ башнѣ Николаевского водопровода установленъ системы «Л. М. Эриксонъ и Ко».

Онъ состоитъ изъ двухъ основныхъ частей—двойного индуктора (сигнального генератора), установленного непосредственно на верхней площадкѣ резервуара башни и указателя уровня, установленного, на разстояніи двухъ верстъ отъ башни на элетрической городской станціи.

Этотъ указатель соединенъ съ индукторомъ резервуара двумя проводами и землей.

Двойной индукторъ снабженъ колесомъ, на которое навивается цѣпь Галля съ поплавкомъ и противовѣсомъ.

Всякое измѣненіе уровня воды въ резервуарѣ вызываетъ движеніе поплавка, передаточной цѣпи Галля и поднятіе специальныхъ кулаковъ индуктора до опредѣленнаго предѣла, послѣ котораго кулаки индуктора, освобождаясь отъ снeciальнаго зацѣпленія, падаютъ на кожанныя подушки и при своемъ паденіи вызываютъ вращеніе якоря индуктора, посылающаго токъ на автоматическій указатель электрической станціи.

Указатель уровня имѣетъ видъ небольшого плоскаго ящика ($8 \times 8 \times 5$ вершк.) съ градуированнымъ циферблатомъ. Одна изъ стрѣлокъ циферблата указываетъ уровень воды въ резервуарѣ, а двѣ другія устанавливаются на допускаемыхъ вышемъ и низшемъ уровняхъ; при совпаденіи подвижной стрѣлки съ одной изъ неподвижныхъ — подается звонкомъ сигналъ.

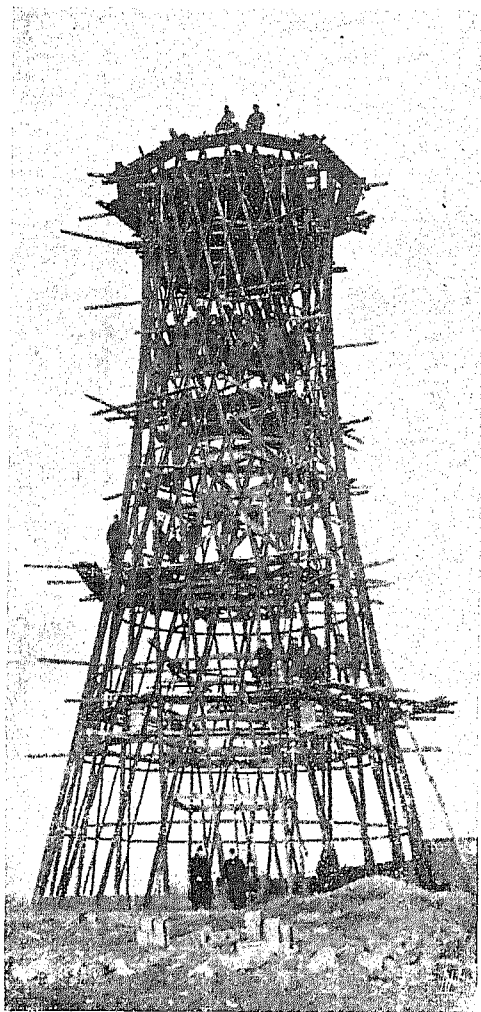
При указателѣ уровня воды имѣется регистрирующій приборъ, который на бумажномъ кружкѣ, ежедневно смѣняемомъ, показываетъ графически положеніе уровня воды въ каждый моментъ. (*).

(*) Подобная электрическая сигнализациа функционируетъ на Московскомъ, Рижскомъ и Полтавскомъ водопроводахъ.

Стоимость индуктора, съ цѣпью и поплавкомъ (франко фабрика) 225 руб., а указатель уровня съ регистрирующимъ приборомъ—275 руб.

Полная стоимость этихъ приборовъ, съ 2-хъ верстной линіей воздушныхъ проводовъ, включая деревянные столбы на рельсовыхъ основаніяхъ—въ Николаевѣ составляетъ около 1200 руб.

Въ Полтавѣ-же, не считая монтажа и столбовъ для воздушной линіи въ 350 саж., по съ алюминиевыми проводами, изоляторами и всѣми принадлежностями линіи—подобная сигнализациа обошлась въ 690 руб.

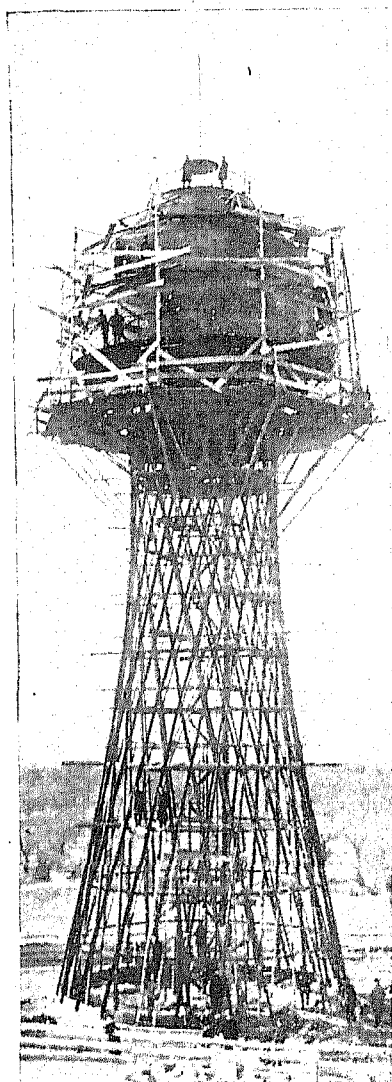


Фиг. 27.

Окончаніе сборки остова башни Николаевского
Городского Водопровода.
1907 г.

4. Водонепроницаемая фундаментная галлерей башни.

Когда выяснилась система присоединенія нагнетательныхъ трубъ,—8-дм. отъ колодцевъ № 2 и № 5 и 10 дм. трубы—отъ колодцевъ № 3 и № 3—bis, къ общей 12 дм. нагнетательной трубѣ башни въ разстояніи 10,15 метра отъ центра полудней, тогда образовавшійся такимъ образомъ южный узелъ трубъ со сво-



Фиг. 28.

Окончаніе работъ по установкѣ и сборкѣ резервуара сист. Инде, емкостью въ 50 тысячъ ведеръ, на остоѣ башни Николаевскаго городского водопровода.

1907 г.

показаны на прилагаемомъ чертежѣ (фиг. 29.).

ими задвижками потребовать устройства большого ревизионнаго сухого колодца. Точно такого-же колодца и на такомъ-же разстояніи отъ центра разводящей трубы потребовалъ и другой, прямо—противоположный первому, съверный узелъ трубъ, въ которомъ 12 дм. разводящая труба башни развѣтвляется на двѣ 10 дм. трубы, питающихъ въ разныхъ пунктахъ 10 дм. кольцевую магистраль съти и одну 5-ти дм. сливную трубу.

Принимая во вниманіе, что вся система трубъ подъ башней, между указанными узлами, представляетъ собою одно изъ самыхъ отвѣтственныхъ мѣстъ водопроводной съти, черезъ пять мѣсяцевъ послѣ открытія башни, вмѣсто отдѣльныхъ сухихъ колодцевъ, была сооружена изъ мѣстнаго известняковаго камня-шестиката (6 × 6 × 12 верш.) одна общая водонепроницаемая фундаментная галлерей, перекрытая бетоннымъ потолкомъ между желѣзными балками.

Какъ ея размѣры, такъ и расположеніе трубъ и задвижекъ

Галлерей, какъ и резервуаръ башни—освѣщается электричествомъ.

Эта водонепроницаемая галлерей, какъ показала практика, имѣла огромное значеніе для прочности самой башни.

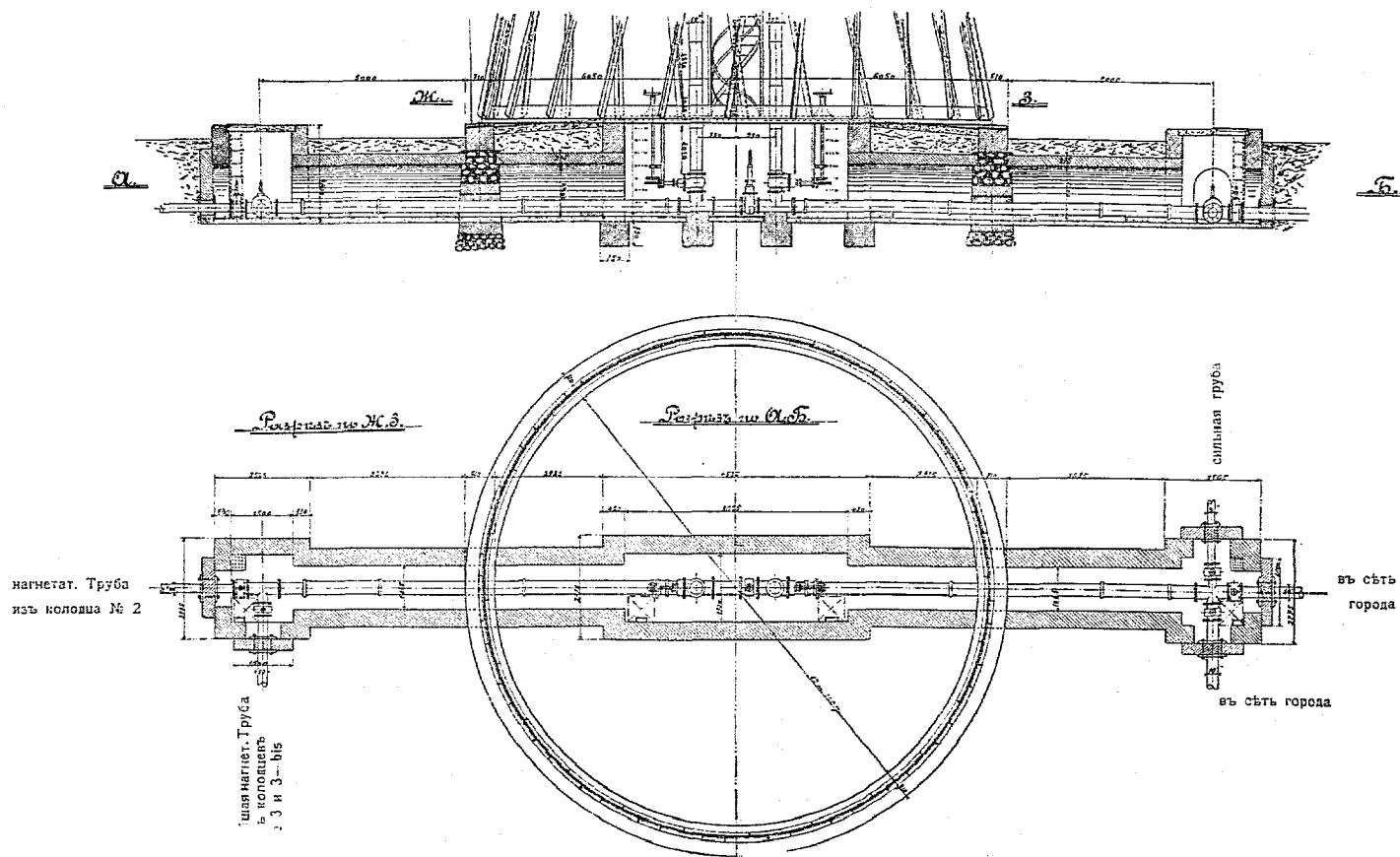
Дѣйствительно, во время перваго года эксплуатаціи только что построенной башни наблюдалась ея естественная осадка, которая сильно вліяла на проходящія подъ ней распредѣлительныя трубы: стыки ихъ разстраивались и давали значительную течь. При отсутствіи водонепроницаемой галлерей — эта течь трубъ у подошвы фундамента башни не была-бы своевременно обнаружена и какъ подмывъ подошвы кольцевого фундамента башни, такъ и всѣ серьезныя послѣдствія, связанныя съ этимъ явленіемъ, были-бы неизбѣжны.

Изъ прилагаемаго чертежа (фиг. 29) галлерей усматриваемъ на нагнетательной и разводящей трубахъ башни задвижки, установленныя такимъ образомъ, что онѣ даютъ полную возможность, въ случаѣ ремонта и промывки резервуара, совершенно выключить башню изъ водопроводной сѣти, или-же пропускать воду, поднимаемую всѣми насосами колодцевъ *подъ башней, минуя ея резервуаръ*.

Кромѣ того, двѣ главные горизонтальныя задвижки, на нагнетательной и разводящей трубахъ, открываются и закрываются сверху галлерей, что сдѣлано на тотъ случай, если произойдетъ внезапная сильная течь трубъ и вода затонитъ всю внутреннюю часть водонепроницаемой галлерей.

Закрытіе или открытіе указанныхъ задвижекъ сверху галлерей производится помощью специальной зубчатой передачи, а именно: — на горизонтальныхъ клинкетныхъ шпинделяхъ задвижекъ насажены коническія зубчатые колеса, находящіеся въ постоянномъ зацѣпленіи съ колесами, насаженными на вертикальныхъ валахъ, вынесенныхъ черезъ бетонный сводъ галлерей и чугунныя колонки на денную поверхность. Вертикальные валы снабжены снимающимися маховиками. То или другое вращеніе маховиковъ приводитъ въ вращательное движеніе зубчатая передачи и, слѣдовательно, открываетъ или закрываетъ соотвѣтствующія задвижки.

Когда опытъ временной эксплуатаціи водопровода показалъ необходимость болѣе точной и непрерывной регистраціи воды, отпускаемой въ городскую сѣть, въ концѣ 1908 года подъ башней былъ установленъ водомѣръ Вольтмана, со счетчикомъ патента Мейнеке, калибра въ 200 м.м.



Фиг. 29.

Водонепроницаемая фундаментная галерея водонапорной башни Николаевского городского водопровода.

Водомѣръ былъ включенъ за башней на одномъ отвлѣтленіи (*) разводящей 10 дм. трубы, между переходными чугунными патрубками такимъ образомъ:

труба 10 дм. + патрубокъ 10 $\times$ 8 дм. + водомѣръ + патрубокъ 8 $\times$ 10 дм. + труба 10 дм.

Вся эта система номѣщена въ сухомъ колодцѣ

(0,80 $\times$ 0,80 $\times$ 1 саж.),

устроенномъ около водонепроницаемой галлерей, (на фиг 29 -- этотъ колодецъ не показанъ), и составляетъ какъ бы боковое, восточное, ея продолженіе.

Подобная установка водомѣра даетъ возможность проверить его въ каждый моментъ, такъ какъ каждая единица высоты емкости резервуара башни извѣстна, а именно:

1 футъ высоты цилиндрической части резервуара соотвѣтствуетъ 2129,74 ведр. или 1 м.м. — 7 ведр. (**).

Въ свою очередь этотъ водомѣръ башни, регистрирующій общій расходъ воды, поступающій въ сѣтъ города, вмѣстѣ съ контрольными вольтъ-амперъ-метрами электрическихъ насосовъ колодцевъ позволяетъ опредѣлять въ каждый моментъ ихъ коэффициенты полезнаго дѣйствія и, слѣдовательно, производительность.

Такъ какъ при водомѣрѣ имѣтъ автоматическаго регистратора, то показанія счетчика водомѣра снимаются непрерывно каждый часъ и записываются въ ежедневные рапорты.

5. Каменная ограда башни и жилой домъ.

Для болѣе надежной охраны отвѣтственнаго пункта расположенія водопроводной башни, гдѣ закрытіемъ соотвѣтствующей задвижки на разводящей трубѣ всегда возможно временно приостановить все водоснабженіе города, не считая возможности случайныхъ

(*) Водомѣръ Вольтмана включенъ на томъ отвлѣтленіи разводящей трубы, которое (на фиг. 29-й) расположено противоположно 5 дм. сливной трубѣ, другое-же отвлѣтленіе, подъ прямымъ угломъ къ сливной трубѣ, пока выключено изъ сѣти соотвѣтствующей задвижкой.

(На фиг. 29-й вмѣсто „сильная труба“ надо читать „сливная“ труба).

(**) Для большей точности, во время испытанія водомѣра при подобныхъ установкахъ, паденіе уровня воды необходимо измѣрять непосредственно въ резервуарѣ, по строго вертикальной рейкѣ, такъ какъ при незначительныхъ паденіяхъ уровня воды — поплавки измѣрительныхъ приборовъ обыкновенно опускаются съ водой недостаточно равномерно и одновременно.

или даже умышленныхъ несчастныхъ случаевъ во время посѣщенія балконовъ башни посторонними лицами—все мѣсто около башни, площадью въ 450 кв. саж., окружено каменной оградой, частью съ желѣзной рѣшеткой, съ желѣзными воротами и калиткой.

Дворъ засаженъ растительностью. Освѣщается электричествомъ.

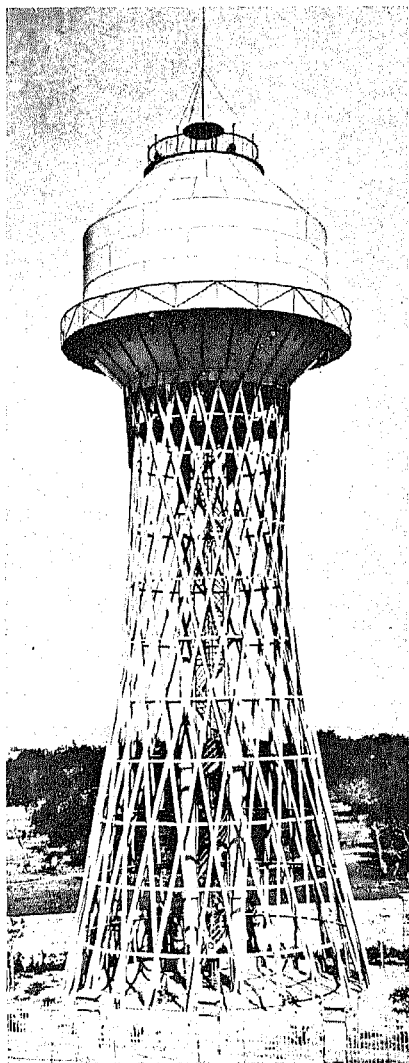
Благодаря элементарнымъ соображеніямъ гигиены, которая не рекомендуетъ, во избѣжаніе заноса заразы, устранивать при резервуарахъ съ запасомъ питьевой воды жилыхъ помѣщеній,—небольшой домъ для сторожа построенъ совершенно отдѣльно отъ башни

6. Постройка башни.

Въ концѣ іюля 1906 года собраніе Николаевской городской Думы утвердило подрядъ на сооруженіе желѣзной башни системы пнж. В. Г. Шухова за Московскимъ заводомъ А. В. Бари, съ которымъ былъ заключенъ договоръ 1 Августа 1906 г. Заводъ инж. А. В. Бари принялъ на себя обязательство построить башню въ пяти-мѣсячный срокъ, при техническомъ надзорѣ инженеровъ города, за свой счетъ и рискъ, изъ своихъ матеріаловъ и своими рабочими.

Послѣ окончательной пріемки законченной сооруженіемъ башни, на владѣльцѣ завода оставалась отвѣтственность за прочность сооруженія втеченіе двухъ лѣтъ и если за это время будутъ обнаружены какіе-либо недостатки въ качествѣ матеріала и въ работахъ по сборкѣ башни, не исключая и фундамента, то заводъ обязывался устранить ихъ, послѣ соотвѣтствующаго извѣщенія, въ назначенный городомъ срокъ. Въ противномъ случаѣ городъ долженъ былъ-бы производить исправленія за счетъ завода. Въ обезпеченіе исправнаго выполненія работъ, заводомъ былъ внесенъ Городскому Общественному Управленію соотвѣтствующій денежный залогъ.

На мѣстѣ закладки каменнаго фундамента башни были сдѣланы городомъ изслѣдованія почвы, посредствомъ буренія развѣдочныхъ скважинъ, которыя обнаружили слой хорошаго сухого песка мощностью до 5 саж. и съ 5 до 7,23 саж.—слой разной глины съ пескомъ, т. е. основаніе вполне надежное для всякаго тяжелаго сооруженія.



Фиг. 30.

Желѣзная водонапорная башня Николаевского Городского Водопровода съ гиперболюидальнымъ остовомъ сист. инж. В. Г. Шухова и резервуаромъ Инце на 50 тыс. вед. воды.

(Построена Московскимъ заводомъ инж. А. В. Барн, по проекту инж. В. Г. Шухова).

Въ октябрѣ 1906 года заводъ приступилъ къ разбивкѣ и устройству каменнаго фундамента подъ основное опорное кольцо (фиг. 24) остова башни и параллельно съ ходомъ работъ доставлялъ въ Николаевъ желѣзныя части башни.

Послѣ установки на фундаментъ желѣзнаго кольца башни, постепенно устанавливались *на болты* стойки остова съ соответствующими горизонтальными кольцами (фиг. 25 и 26).

Устройство подмостей и лѣсовъ, а также подъемъ частей остова башни было чрезвычайно просто. Дѣйствительно, послѣ временной сборки на болты пересѣченій стоекъ остова, въ каждомъ ярусѣ или черезъ ярусъ, смотря по надобности, укладывались въ нихъ, т. е. въ пересѣченіяхъ, деревянные балки, но которымъ настилалась площадка, снизу площадка въ центральной своей части подпиралась деревянными стойками (см. фиг. 25-ю). На площадкѣ устанавливался простой коперъ съ блокомъ и небольшой лебедкой, при помощи котораго поднималось угловое желѣзо стоекъ. Коперъ въ ручную переставлялся на площадкѣ—до тѣхъ поръ, пока не заканчивалась установка стоекъ по всему кругу остова. На фиг. 25-й, на второй площадкѣ можно усмотрѣть лѣстницу раскоса копра, а на фиг. 26, 27 и 28-й—постепенную сборку башни.

Вся башня, до установки резервуара, была собрана на болты и только при завершеніи остова постепенно снизу болтовые соединенія замѣнялись постоянными заклепочными швами.

Вслѣдствіе точной размѣтки заводомъ заклепочныхъ отверстій, сборка башни была произведена на столько скоро, что въ январѣ 1907 года, не смотря на холодную погоду и сильные вѣтры, была закончена склейка остова и начата сборка резервуара, а 15 марта 1907 г. башня съ резервуаромъ и всѣми необходимыми трубами, кромѣ окраски (*) и постановки изоляціи на 12 дм. трубахъ, была совершенно закончена и послѣ произведеннаго испытанія на плотность швовъ резервуара принята городомъ и включена въ общую сѣть дѣйствовавшего водопровода.

Устройство фундаментной водонепроницаемой галлерей башни, установка электрическаго сигнализатора съ устройствомъ линій

(*) Остовъ башни и резервуаръ окрашены сѣрой (gris de perle) краской, внутренняя поверхность резервуара—желѣзнымъ сурикомъ.

проводовъ между башней и электрической станціей, а также устройство ограды, жилого дома и др. мелкихъ установокъ оборудованія башни—произведены городомъ хозяйственнымъ способомъ, при мелкихъ раздробительныхъ подрядахъ, въ разное время 1907 и 8 гг.

7. Основные достоинства башни.

Заканчивая полное рассмотрение большой водонапорной башни Николаевского городского водопровода, можемъ въ краткихъ словахъ пояснить, что она:

1) Снабжена самымъ большимъ по своему полезному объему желѣзнымъ резервуаромъ сист. Инце, на желѣзномъ остовѣ сист. инж. В. Г. Шухова, по сравненію съ существующими водоемами другихъ водопроводовъ.

2) Совершенно освобождена, изъ соображеній общественной гигиены и санитаріи, отъ всякихъ жилыхъ при ней помѣщеній, постоянныхъ наблюдательныхъ пунктовъ надъ резервуаромъ (*) и проч.

3) Не требуетъ зимой никакого отонленія и даже отепленія резервуара, при помощи павильона или другой какой-либо рубашки, такъ какъ вслѣдствіе естественной циркуляціи охлаждающіяся частицы воды изъ резервуара уходятъ первыми въ разводящую трубу съѣти. Кроме того, благодаря подпочвенной теплой водѣ, 13° по Цельсію, резервуаръ башни представляетъ собой на столько мощный калориферъ, что зимой вода охлаждалась въ немъ самое большее на 1,5—2° Цельсія.

4) Имѣя большой объемъ резервуара и хорошую вентиляцію, башня способствуетъ отстаиванію, аэрированію и перемѣшиванію воды разнаго химическаго состава и жесткости, поднимаемой изъ разныхъ колодцевъ, но общему 12 дм. нагнетательному водоводу башни.

5) Автоматически записываетъ измѣненіе уровня воды въ резервуарѣ—въ машинномъ зданіи центральной электрической станціи—за двѣ версты отъ нея и этимъ даетъ возможность контролировать и регулировать работу агрегатовъ.

(*) Нѣкоторые города, въ ущербъ элементарнымъ принципамъ гигиены—надъ резервуаромъ башни устраиваютъ постоянный наблюдательный пунктъ пожарнаго обоза. Подобное совмѣщеніе хранилища здоровой воды съ вышкой пожарнаго—не должно быть допускаемо.

6) За $4\frac{1}{2}$ года своей постоянной эксплуатации, при значительном колебании нагрузки, не требовала расхода на ремонтъ, кромѣ обычной промывки резервуара и окраски.

Что касается конструктивных особенностей, то онѣ достаточно освѣщены съ разныхъ сторонъ, при общемъ разсмотрѣніи гиперболоидальныхъ башенъ системы инж. В. Г. Шухова.

Теперь остается упомянуть, насколько рационаленъ и желателенъ объемъ резервуара въ 50 тысячъ ведеръ въ настоящее время и насколько онъ удовлетворяетъ, по дѣйствительному подсчету, своему назначенію при настоящемъ состояніи эксплуатации Николаевского водопровода.

Дѣйствительно, въ 1909 году средняя суточная подача воды на Николаевскомъ водопроводѣ была 158984 ведра, или 1,58 ведра на человѣка, т. е. на 0,11 ведра болѣе, чѣмъ въ 1908 году. (*)

Допустимъ, что въ 1910 году этотъ расходъ повысится не на 0,11 вед. на человѣка, а на 0,07 ведра, считая сто-тысячное населеніе города, тогда средняя суточная подача воды выразится въ 165 тысячъ ведеръ

Тотъ лѣтній часовой расходъ воды въ сѣти, который каждый въ отдѣльности менѣе среднего часового разбора этого-же дня, при общемъ суточномъ потребленіи 165 тысячъ ведеръ, на Николаевскомъ водопроводѣ иллюстрируется съ достаточной точностью въ слѣдующемъ видѣ:

a_1	= 1500	вед.	= 0,90%	отъ 12 ч. н. до 1 ч. н.
a_2	= 1000	" "	0,60 "	" 1 " " 2 " "
a_3	= 1000	" "	0,60 "	" 2 " " 3 " "
a_4	= 1200	" "	0,72 "	" 3 " " 4 ч. утра
a_5	= 3200	" "	1,93 "	" 4 ч. у. " 5 " "
a_6	= 5700	" "	3,44 "	" 5 " " 6 " "
a_{20}	= 6300	" "	3,81 "	" 7 ч. в. " 8 ч. в.
a_{21}	= 5700	" "	3,44 "	" 8 " " 9 " "
a_{22}	= 3700	" "	2,23 "	" 9 " " 10 " "
a_{23}	= 2800	" "	1,70 "	" 10 " " 11 " "
a_{24}	= 1600	" "	0,97 "	" 11 " " 12 ч. ночн.

(*) См. отчетъ по эксплуатации Николаевского Городского Водопровода за 1908—1909 гг. (изд. 1910 г. стр. 85).

Часовые-же разборы воды, $a_7, a_8, \dots, a_{18}, a_{19}$, т. е. начиная съ 6 ч. утра до 7 ч. вечера, болѣе средняго часового разбора a_m , который равенъ

$$a_m = \frac{Q}{24} = \frac{165000}{24} = 6875 \text{ вед. или } 4,16\% \text{ суточнаго разбора.}$$

Нормальная формула расчета резервуара водонапорной башни, въ зависимости отъ суточнаго потребленія воды, имѣтъ видъ:

$$V \geq [11 \cdot a_m - (a_1 + a_2 + \dots + a_5 + a_6 + a_{20} + a_{21} + \dots + a_{24})] \cdot \frac{Q}{100} + m \cdot b \cdot q.$$

Здѣсь m — число открытых пожарныхъ гидрантовъ,

b — количество часовъ непрерывной работы гидрантовъ, и q — среднее количество воды, подаваемое въ часъ черезъ каждый пожарный гидрантъ.

Число открытых пожарныхъ гидрантовъ обыкновенно принимаютъ шесть, при непрерывной ихъ работѣ отъ часа до двухъ часовъ. Въ Николаевѣ, какъ въ городѣ, окруженномъ почти со всѣхъ сторонъ водой рѣкъ Буга и Ингула и въ которомъ по своей разбросанности по полуострову пожары бываютъ незначительные и сравнительно не часто, число единовременно открытых гидрантовъ обыкновенно не превышаетъ четырехъ, что и принимаемъ для нашего подсчета.

Среднее количество воды, подаваемое каждымъ 3 дм. гидрантомъ въ часъ—можно допустить равнымъ 1290 ведр. въ часъ (*)

Подставляя эти данныя въ основную формулу, находимъ, что полезный объемъ резервуара башни долженъ быть въ настоящее время не менѣе

$$V = [11 \cdot 4,16 - (0,90 + 0,60 + 0,60 + 0,72 + 1,93 + 3,44 + 3,81 + 3,44 + 2,23 + 1,70 + 0,97)] \cdot \frac{165000}{100} + 4 \cdot 2 \cdot 1290 = 41943 + 10320 = 52263 \text{ вед.}$$

Изъ этого разсчета видно, что теперь, на шестомъ году эксплоатации водопровода, водонапорная башня, въ смыслѣ вмѣстимости своего резервуара, при существующемъ способѣ подачи воды въ него—удовлетворяетъ своему назначенію.

(*) Николаевскій водопроводъ, какъ имѣющій 3 дм. магистрали съѣти, не является водопроводомъ строго—противопожарнымъ и указанное количество воды, подаваемое каждымъ гидрантомъ въ часъ, при разсматриваемыхъ условіяхъ, можно считать достаточно близкимъ къ истинѣ.

При открытіи-же канализаціи, хотя-бы въ одной главной части города (*) расходъ воды изъ сѣти въ первый-же годъ значительно увеличится и городу придется обосновать непрерывность водоснабженія на способѣ питанія сѣти съ двухъ концовъ, при помощи уравнительной контръ-башни съ резервуаромъ емкостью не менѣе 35 тысячъ ведеръ воды и съ наивысшимъ уровнемъ воды въ немъ нѣсколько ниже такового въ водонапорной башнѣ.

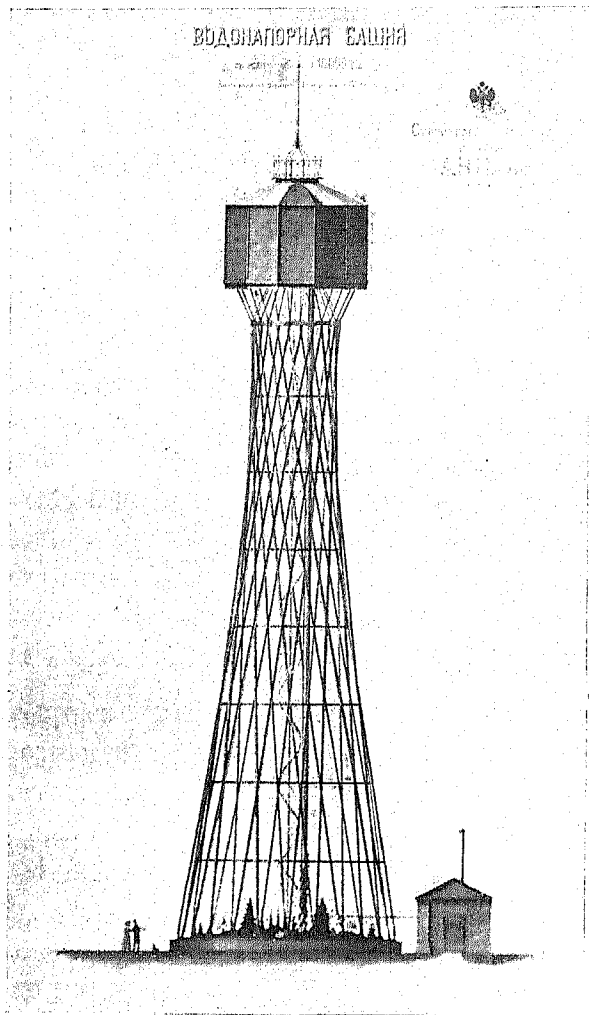
Принимая во вниманіе, что въ настоящее время, при среднемъ часовомъ разборѣ воды изъ сѣти только въ 8—10 тысячъ ведеръ, манометрическое давленіе въ магистралахъ, на возвышенныхъ мѣстностяхъ и удаленныхъ отъ башни пунктахъ сѣти, падаетъ до 1,5 атмосферъ, то даже теперь установка контръ-башни является своевременной. Необходимость въ этомъ еще болѣе подтверждается при оборудованіи сѣти трубъ города почти 400 пожарными гидрантами. Вотъ почему для города Николаева контръ-башня даже теперь представляется экономически весьма выгодной, ибо резервуаръ контръ-башни, наполняясь въ часы небольшого разбора воды изъ сѣти, во время усиленнаго ея разбора обращается самъ въ водоемъ, питающій сѣть со стороны, противоположной главному водонапорному резервуару, благодаря чему является возможность увеличить пропускную способность существующей сѣти и болѣе рационально регулировать работу электрическихъ центробѣжныхъ насосовъ въ зависимости отъ агрегатовъ электрической станціи, посылающей къ нимъ требуемую энергію и въ зависимости отъ часовъ наибольшаго разбора воды изъ сѣти водопровода.

Что касается дѣйствительной емкости контръ-резервуара и превышенія наивысшаго горизонта воды въ водонапорномъ резервуарѣ надъ наивысшимъ горизонтомъ въ уравнительномъ, то такое съ достаточной точностью возможно подсчитать, принимая въ основаніе расчета изъ экономическихъ соображеній непремѣнное условіе, что суточные балансы притока и расхода воды въ контръ-резервуарѣ были-бы равны между собою. Недостатокъ притока нарушилъ-бы въ корнѣ весь смыслъ системы, избытокъ-же притока воды былъ-бы не экономиченъ.

(*) Канализація въ г. Николаевѣ будетъ открыта для дѣйствія въ двухъ главныхъ частяхъ города не ранѣе 1915—16 гг.

Желѣзная уравнительная башня Коломенскаго городского водопровода съ резервуаромъ на 10 тыс. ведеръ воды.

Водоопабженіе города Коломны совершается подпочвенной водой изъ двухъ артезіанскихъ скважинъ, глубиной 57,4 саж.; водопроводъ имѣетъ резервуарную систему подачи воды и принадлежитъ Городскому Общественному Управленію.



Фиг. 31.

Уравнительная башня Коломенскаго городского водопровода.

Фотогр. снимокъ съ проекта башни инж. В. Г. Шухова.

Въ 1 : 425 натур. величины.

Эксплуатація водопровода производится съ 1902 года.

Въ 1908 году паровые насосы водопровода подняли въ сѣтъ городскихъ трубъ 15 милл. ведеръ воды, при наибольшемъ ея суточномъ разборѣ въ 60 тыс. и наименьшемъ—20 тыс. ведеръ, обслуживая въ общемъ 80% отъ 30-ти тысячнаго населенія города.

Уравнительная башня, включенная въ замкнутую водопроводную сѣтъ, желѣзная—системы инж. В. Г. Шухова (фиг. 31 и 32).

Остовъ башни состоитъ изъ 24 уголковъ и собранъ какъ гиперболоидъ вращенія, перевязанный 8-ю горизонтальными кольцами. Размѣръ сѣченія уголка остова у основанія $150 \times 150 \times 16$ м.м., въ срединѣ— $120 \times 120 \times 15$ м.м. и у вершины $120 \times 120 \times 12$ м.м. Диаметръ нижняго опорнаго кольца башни 40,5 фута, а верхняго 16,5 фута. Остовъ башни укрѣпленъ къ фундаменту 24-мя болтами, діам. въ 1,5 дм.

Высота башни, отъ линіи обрѣза цоколя фундамента до дна резервуара 120 футъ, разстояніе же между дномъ и первымъ горизонтальнымъ кольцомъ остова башни—8 футовъ.

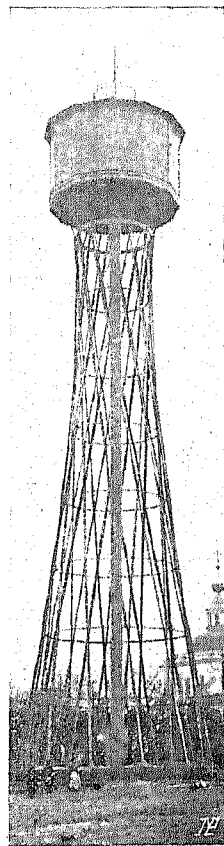
Желѣзный резервуаръ башни съ плоскимъ дномъ; высота его 16 ф., а діам. 20 футъ,—что соотвѣтствуетъ полезной емкости въ 10 тысячъ ведеръ.—Резервуаръ установленъ въ деревянномъ павильонѣ, наибольшая ширина котораго 26,5 фут., высота до кровли—16 фут., высота кровли 5 футъ.

Верхняя круглая площадка на кровлѣ павильона имѣетъ діаметръ 9 футъ и возвышается надъ цоколемъ фундамента на 141 футъ.

Башня имѣетъ въ центрѣ винтовую лѣстницу, одну общую трубу и громотводъ.

Начата и закончена сооруженіемъ башня Коломенскаго городского водопровода.

Вод. жел. башни.



Фиг. 32.

Желѣзная уравнительная башня Коломенскаго городского водопровода.

(По проекту инж. В. Г. Шухова.)

Желѣзная уравнительная башня завода Б. А. Гивартовскаго въ Москвѣ съ резервуаромъ на 10 тыс. вед. воды.

Акціонерное общество Московскаго винокуренно-дрожжевого завода Б. А. Гивартовскаго только что закончило постройкой для своего водопровода желѣзную башню системы инж. В. Г. Шухова (фиг. 33).

Гиперболоидальный остовъ башни состоитъ изъ 24 стоекъ углового желѣза профиля $4 \times 4 \times \frac{3}{8}$ дм., перевязанныхъ 8-ю горизонтальными кольцами. Разстояніе между кольцами 7 футъ, за исключеніемъ таковаго между 7-мъ и 8-мъ кольцомъ, гдѣ оно равно 4,5 фут. Разстояніе же между 8-мъ кольцомъ и уголкою жесткости нижней цилиндрической части резервуара 2,5 ф. Такимъ образомъ высота башни, считая отъ цоколя фундамента до цилиндрической части резервуара равна:

$$H = 7 \times 7 + 4,5 + 2,5 = 56 \text{ ф.} = 8 \text{ саж.}$$

Опорное кольцо остова имѣетъ діаметръ 30 фут. и закрѣплено къ фундаменту 24 болтами діаметра 1 дм. и длиной 5 футовъ.

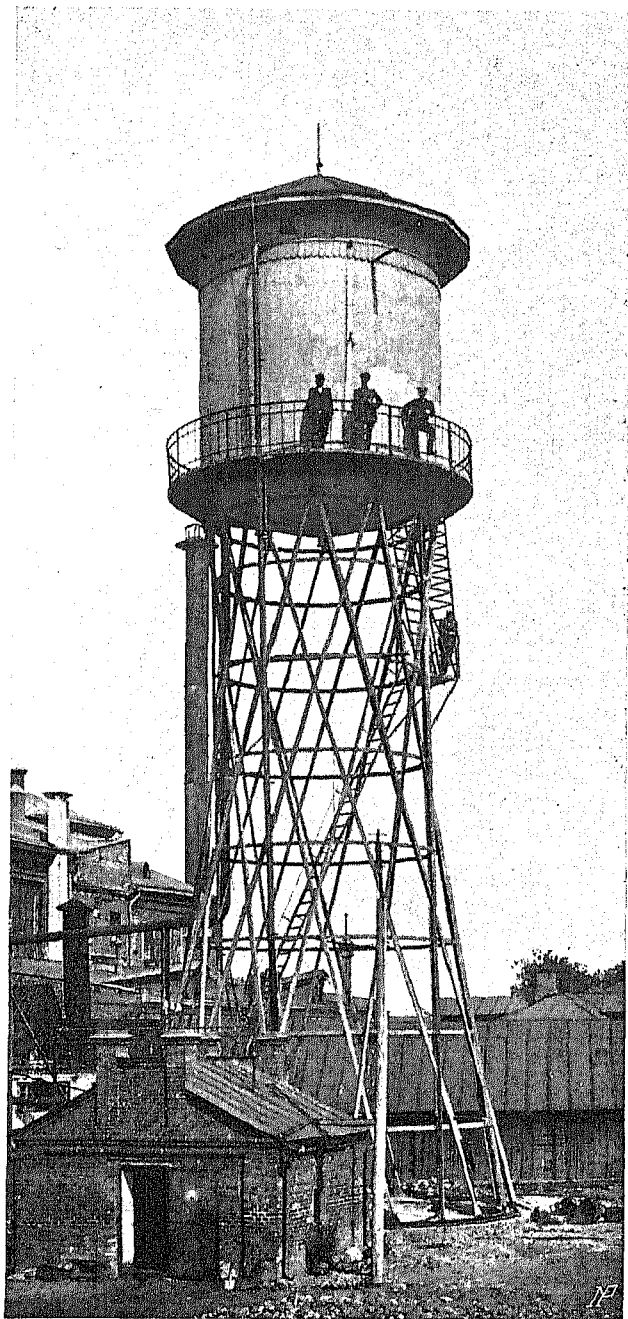
Окружность расположенія центровъ этихъ болтовъ имѣетъ діам. 30 ф. 4 дм.

Фундаментъ башни заложенъ въ грунтъ на глубину 6 футовъ, полная же высота фундамента (съ цоколемъ) 7 футовъ.

Желѣзный резервуаръ башни со сферическимъ провиснымъ днищемъ слѣдующихъ размѣровъ:

Діаметръ $d = 18$ ф.; высота цилиндрической части (изъ 4 вѣнцовъ листового желѣза) — $h = 15$ ф. 4 дм.; стрѣла днища $f = 3$ ф. При такихъ размѣрахъ полная емкость резервуара равна $\infty 10000$ ведеръ.

Первоначально предполагалось резервуаръ башни закрыть обыкновеннымъ деревяннымъ навіиономъ, въ дѣйствительности-же, какъ указано на фиг. 33, резервуаръ закрытъ пробковой изоляціей, толщиной въ 4 сант., уложенной непосредственно на его желѣзныя стѣнки. Наружная поверхность пробковыхъ плитъ опшукатурена цементомъ толщиной въ $\frac{3}{4}$ дм.



Фиг. 33.

Желѣзная уравнильная башня водопровода на заводѣ Б. А. Гивартовскаго въ Москвѣ.

(По проекту инж. В. Г. Шухона).

Крыша резервуара изъ кровельнаго желѣза на деревянныхъ стропилахъ. Подобное устройство резервуара вызвано тѣмъ, что для потребностей завода необходима холодная вода и изоляція устроена съ цѣлью предохранить воду отъ нагрѣванія въ жаркіе дни лѣта.

Башню обслуживаютъ одна разводящая труба діам. 6 дм. и одна 4-дюймовая сигнальная труба. Трубы безъ изоляціи.

Простое устройство лѣстницъ башни, площадки и балкона указано на фиг. 33.

Вѣсъ всего сооруженія 1100 пудовъ, слѣдовательно коэффиціентъ легкости

$$\mu = \frac{1100}{0,75 \cdot 10000} = 0,146$$

Стоимость башни—5000 руб., что составляетъ среднюю стоимость саж.-ведра

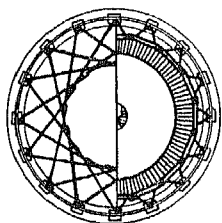
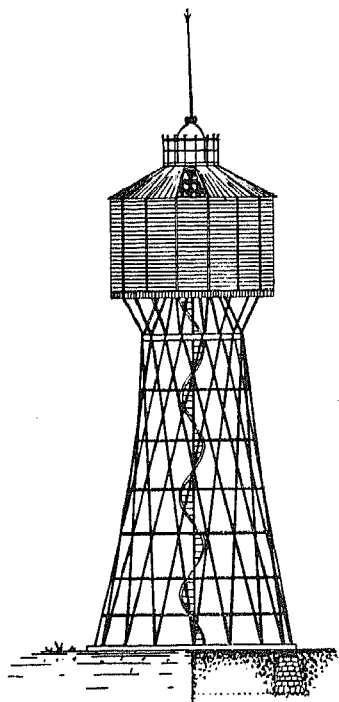
$$m = \frac{P}{h \cdot V} = \frac{5000}{8 \cdot 10000} = 0,0625 \text{ рб. или } 4 \text{ р. } 54 \text{ к. съ пуда.}$$

Желѣзная уравнильная башня на заводѣ Торгово-Промышленнаго Товарищества „П. И. Оловянишникова С-я“ въ Ярославлѣ, съ резервуаромъ на 10 тыс. ведеръ воды.

Желѣзная башня заводскаго водопровода Т-ва «П. И. Оловянишникова С-я» въ Ярославлѣ сооружена по проекту инж. В. Г. Шухова—Московскимъ заводомъ А. В. Бари въ 1904 году. Основные размѣры ея частей слѣдующіе: остовъ состоитъ изъ 32 уголковъ $4 \times 4 \times \frac{3}{8}$ дм. и прикрѣпленъ къ фундаменту 16-ю болтами діам. въ $1\frac{3}{8}$ дм.; горизонтальныхъ колецъ остова 7, не считая опорнаго; высота остова отъ фундамента до 7-го горизонтальнаго кольца—50 фут., до дна резервуара 56 футовъ (фиг. 34).

Діаметръ нижняго основанія остова башни 32 фута, діаметръ же верхняго кольца гиперболоида 16,5 фут.

Емкость резервуара, съ плоскимъ дномъ, на 10 тысячъ ведеръ воды;—расходъ же воды за сутки въ настоящее время отъ 3 до 5 тыс. ведеръ.



Фиг. 34.

Желѣзная башня водопровода за-
вода Торг.-Промыш. Т-ва „П. И.
Оловянишниковъ С-я“ въ Ярослав-
лѣ.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

Резервуаръ, какъ это видно изъ
фиг. 34-й, номѣщается въ деревян-
номъ навильонѣ высотой до верхней
площадки на его кровлѣ — 22 фута.

До настоящаго времени вода
въ башнѣ не замерзала, а замерза-
ла лишь въ трубѣ, которая хотя и была
отеплена опилками, но недостаточно.
Послѣ этого было устроено паровое
отопленіе. Въ резервуарѣ-же вода
не нагревается.

Подача воды въ резервуаръ,
какъ и ея расходъ, происходитъ по
одной и той-же трубѣ.

Башня имѣетъ центральную
винтовую лѣстницу и громоотводъ.

Ремонтъ башни былъ одинъ
разъ черезъ пять лѣтъ и то лишь
заключался въ окраскѣ деревяннаго
навильона резервуара.

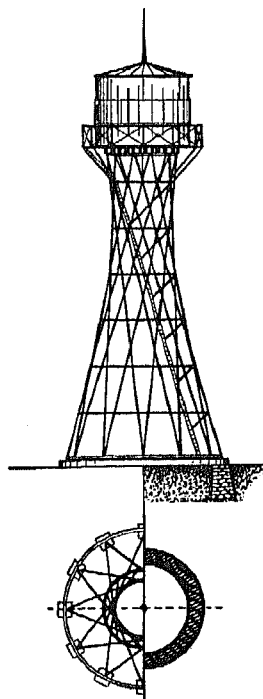
Желѣзная напорная башня на заводѣ Уральско-Волжскаго Металлургическаго Общества въ Царицынѣ на Волгѣ съ резервуаромъ на 3000 пуд. нефт. остатковъ.

Для надобностей завода Уральско-Волжскаго Металлургическаго О-ва, въ Царицынѣ, была сооружена заводомъ инж. А. В. Бари въ 1899 году напорная гиперболическая башня системы инж. Шухова съ резервуаромъ полезной емкости на 3 тысячи пудовъ нефтяныхъ остатковъ. (фиг. 35-я).

Высота остова башни, отъ фундамента до плоскости расположенія балокъ подъ плоское днище резервуара, 50 футовъ. Гиперболоидъ собранъ изъ 24 уголковъ 3.3. $\frac{1}{4}$ дм., перевязанныхъ шестью горизонтальными кольцами, не считая нижняго опорнаго и верхняго для балокъ резервуара. Діаметръ опорнаго фундаментнаго кольца 25 ф. $3\frac{1}{2}$ дм., верхняго — 12 ф. $3\frac{1}{2}$ дм. Самое малое горизонтальное кольцо, третье сверху, имѣетъ діаметръ 10 фут.

Вертикальное разстояніе между фундаментнымъ кольцомъ и слѣдующимъ, а также между 2-мъ и 3-мъ, 3-мъ и 4-мъ — по 7,5 фут.

Размѣры резервуара: діаметръ 14 ф. $5\frac{7}{8}$ дм., а высота 11 футъ $10\frac{3}{4}$ дм., что соотвѣтствуетъ полному объему въ 1957 куб. фут. или 4505 вед. воды, или 3064 пуд. (*) нефт. остатковъ.



Фиг. 35

Напорная башня съ резервуаромъ на 3 тысячи пуд. нефт. остатк. на заводѣ Уральско-Волжскаго Металлургич. О-ва въ Царицынѣ на Волгѣ.

(По проекту завода инж. А. В. Бари—въ Москвѣ).

(*) 1 пудъ нефт. остатковъ 1,47 ведра.

Всѣхъ 1 куб. фута нефт. остатковъ $\approx$ 1,57 пуд.

Удельный вѣсъ нефт. остатковъ 0,91, бакинской нефти 0,87, а керосина 0,82.

Резервуаръ окруженъ балкономъ, діаметра 19,5 фут, который поддерживается кронштейнами, укрѣпленными къ одному изъ горизонтальныхъ колець гиперболоида. Соединеніе балкона съ землей—при помощи обыкновенной наклонной лѣстницы.

Глубина заложения фундамента, считая высоту цоколя, около 6,5 футовъ. Фундаментныхъ болтовъ остова 12, каждый діам. 1 дм.

Желѣзная уравнительная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 2300 вед. воды, на заводѣ Центрального Электрическаго Общества. Москва—Симоново.

Эта башня системы инженера В. Г. Шухова отличается отъ прочихъ типовъ тѣмъ, что гиперболоидъ ея остова весьма значительно суживается въ своей талии. Дѣйствительно:—діаметръ нижняго опорнаго кольца ея остова=34 ф. 4 дм., а верхняго=8 ф. 9 дм., т. е. отношеніе ихъ

$$n=34 \text{ ф. } 4 \text{ дм.} : 8 \text{ ф. } 9 \text{ дм.} = 3,923$$

между тѣмъ какъ для другихъ башенъ это отношеніе измѣняется въ предѣлахъ отъ 1,66 до 2,60, что видно изъ слѣдующей таблицы:

Для башни въ гор. Николаевъ	1,83
» » въ имѣніи „Сторожено“ (Рязан. губ.)	2,60
» » въ гор. Коломнѣ » »	2,45
» » на заводѣ Гивартовскаго въ Москвѣ	1,66
» » » Оловянишникова въ Ярославлѣ	1,93
» » » Металлургич. О-ва въ Царицынѣ	2,05
» » на трубочн. зав. около г. Самары	2,56

Остовъ башни собранъ изъ 40 уголковъ, перевязанныхъ 10 горизонтальными кольцами, не считая опорнаго и верхняго—подъ резервуаромъ.

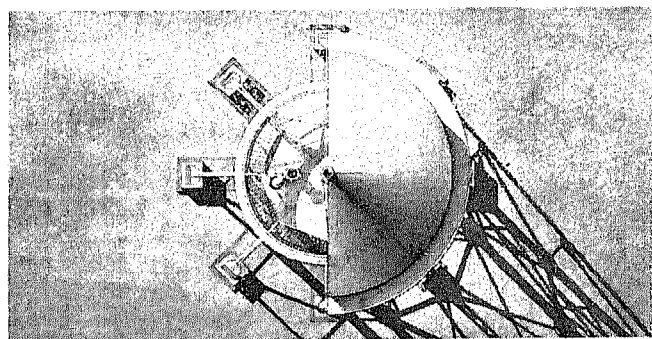
Высота башни до дна резервуара 82 фута.

Резервуаръ, полезной емкости на 2300 вед. воды, заключенъ въ деревянномъ павильонѣ.

Центральная лѣстница—винтовая.

Château

deau.



Фиг. 37.

Желѣзная водонапорная башня въ Макѣевкѣ. Въсѣ башни съ резервуаромъ 4100 пудовъ.

(По проекту Акц. О-ва Механическихъ и Котельныхъ заводовъ „В. Фицперъ и К. Гамперъ“. Сосновицы).

Водопроводная башня съ резервуаромъ сист. Инце на 9500 вед. воды въ имѣніи „Сторожено“, принадлежащаго Ю. С. Нечаеву-Мальцеву.

Эта первая башня, построенная по проекту инженера В. Г. Шухова, была сначала собрана въ 1896 году на Всероссийской Выставкѣ въ Нижнемъ-Новгородѣ. Послѣ окончанія выставки, она была продана Ю. С. Нечаеву-Мальцеву и поставлена въ его имѣніи «Сторожено» (Рязанской губ.) для орошенія фруктоваго сада, площадью въ 65 десятинъ.

Гиперболоидальный осто́въ башни (см. фиг. 36) состоитъ изъ 80 уголковъ сѣченія, внизу, $3.3.^{3/8}$ дм. и вверху $2.2.^{5/16}$ дм., перевязанныхъ 8-ю горизонтальными кольцами, не считая верхняго подъ днищемъ резервуара и опорнаго. Діаметръ нижняго основанія 36 ф. 4 дм., а верхняго кольца—14 ф.

Резервуаръ сист. Инце, съ выпуклымъ внутрь днищемъ, полезной емкости на 9500 ведеръ воды, имѣетъ внутреннюю центральную горловину съ лѣстницей.

Высота башни отъ фундамента до дна резервуара 84 фута.

Осто́въ башни прикрѣпленъ къ фундаменту 80-ю болтами, діам. $1\frac{1}{4}$ дм.

Желѣзная водонапорная башня въ Макѣевкѣ съ резервуаромъ полезной емкости въ 24 тысячи ведеръ воды.

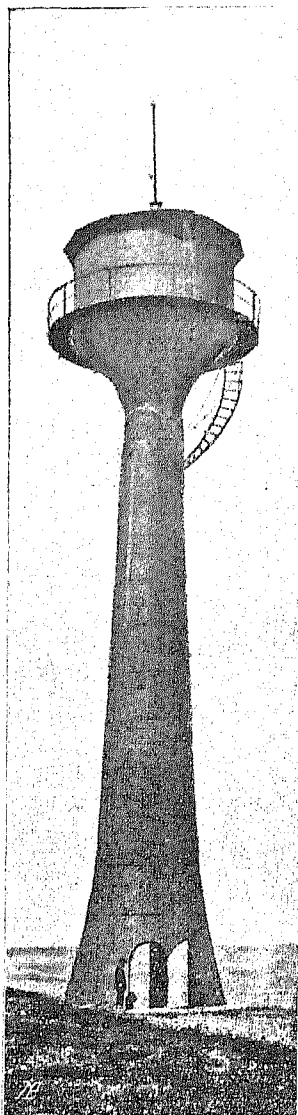
Рѣшетчатый осто́въ желѣзной водонапорной башни, въ Макѣевкѣ, состоитъ изъ восьми основныхъ реберъ (вертикальных фермъ), изъ двухъ швелеровъ  № 20 —каждое, расположенныхъ по окружности діаметра 6,2 метра съ откосами въ два метра у основанія. Высота остова башни до опорнаго кольца 25 метровъ. (См. фиг. 37-ю).

Поддерживаемый башней резервуаръ имѣетъ полную емкость 300 куб. метр. Діаметръ его цилиндрической части 8,5 метр., высота—4,24 метра, высота-же нижней конической части—2,9 метра. Резервуаръ покрытъ желѣзной кровлей, имѣющей входной люкъ съ наружной и внутренней стремяной лѣстницами и окруженъ желѣзнымъ балкономъ. Одна нагнетательная труба и одна разводящая діам. по 350 м.м. (14 дм.), а переливная—250 м.м. (10 дм.).

Этотъ проектъ башни былъ выставленъ въ павильонѣ заводовъ «В. Фицнеръ и К. Гамнеръ» на Одесской выставкѣ въ 1910—11 гг.

Желѣзная водопроводная башня въ Гродзецѣ съ резервуаромъ на 8000 вед. воды.

Водопроводъ на территоріи коней Гродзецкаго Общества коней угля и промышленныхъ заводовъ имѣетъ желѣзную башню, сплошной остовъ которой склепанъ изъ листового $\frac{1}{4}$ дюймового желѣза, безъ внутренняго каркаса и уголковъ жесткости, въ видѣ поставленныхъ другъ на друга усѣченныхъ конусовъ (фиг. 38-я).



Внутри остова имѣются трубы и лѣстница, при чемъ послѣдняя расположена въ четыре марша съ 4-мя площадками изъ рифленого желѣза на двутавровыхъ балкахъ.

Основаніе остова башни имѣетъ діаметръ 5,5 метра, а діаметръ самой узкой части остова, подъ опорнымъ кольцомъ резервуара, 2 метра.

Высота башни отъ основанія до цилиндрической части резервуара 22,9 метра.

Желѣзный резервуаръ полной емкости на 8 тысячъ ведеръ воды состоитъ изъ цилиндра, діам. 5,2 метра и высоты 3,1 метра, и изъ нижняго усѣченнаго конуса, высотой въ 2,2 метр., съ провиснымъ сферическимъ дномъ. Резервуаръ башни окруженъ платформой изъ рифленого желѣза на крошечныхъ, прикрѣпленныхъ къ конической части диница. Кровля резервуара — изъ $2\frac{1}{2}$ мм. желѣза.

Фиг. 38.

Желѣзная башня въ Гродзецѣ съ резервуаромъ на 8 тыс. вед. воды.
(По проекту Акціонернаго О-ва Механическихъ и Котельныхъ Заводовъ „В. Фицнеръ и К. Гампортъ“, Сосновицы).

Башня сооружена 8 лѣтъ тому назадъ Акціонернымъ Обществомъ Котельныхъ и Механическихъ Заводовъ «В. Фицнеръ и К. Гамперъ» по заказу, фирмы «Држевецкій и Езиоранскій», устроившей водоснабженіе на территоріи коней угля «Гродзецъ».

Желѣзная башня для водоснабженія станціи „Ярославль“ Сѣверныхъ желѣзныхъ дорогъ, съ двумя резервуарами, низкаго и высокаго давленія, общей емкости въ 32 куб. саж. или 25265 ведеръ воды.

Нѣсколько сотенъ желѣзнодорожныхъ станцій почти 60 тыс. верстной сѣти желѣзныхъ дорогъ нашего обширнаго отечества имѣютъ свои водопроводы, съ искусственнымъ подъемомъ воды въ возвышенные резервуары своихъ башенныхъ установокъ, при чемъ послѣднія сооружены большей частью изъ камня или кирпича и лишь въ весьма рѣдкихъ случаяхъ—изъ желѣзо-бетона. Желѣзныхъ-же башенъ станціонныхъ водопроводовъ указать здѣсь затрудняемся и по всей вѣроятности ихъ въ Россіи совершенно не существуетъ, не смотря на ихъ дешевизну, по сравненію съ нынѣ существующими каменными и кирпичными башнями.

Не желая вдаваться въ разсмотрѣніе соображеній, послужившихъ основаніемъ для предпочтенія, повсюду на желѣзныхъ дорогахъ въ Россіи, существующихъ каменныхъ и кирпичныхъ типовъ башенъ передъ металлическими, коснемся здѣсь лишь вопроса стоимости тѣхъ и другихъ. Достаточно сравнить стоимости хотя-бы не особенно дорогихъ кирпичныхъ башенъ, на гранитныхъ цоколяхъ, станцій Харьковско-Николаевской и Южныхъ желѣзныхъ дорогъ съ обыкновенной стоимостью желѣзныхъ башенъ системы инж. В. Г. Шухова, какъ можно убѣдиться въ значительной дороговизнѣ первыхъ.

Дѣйствительно, изъ прилагаемой ниже таблицы усматриваемъ, что средняя стоимость *саж.-ведра* башенъ упомянутыхъ желѣзнодорожныхъ станцій измѣняется въ довольно широкихъ предѣлахъ, а именно отъ 0,110 до 0,268 руб., та-же стоимость для желѣзной башни сист. инж. В. Г. Шухова высотой 6 саж. и съ

резервуаромъ емкостью на 10 тысячъ ведеръ воды не превышаетъ 0,075 рублей.

Таблица стоимости каменныхъ желѣзнодорожныхъ башенъ.

Мѣсто установки башни.	Типъ башни.	Высота башни отъ головки рельса до опорнаго чутуна- го колыца резер- вуара въ саж.	Емкость резервуара.		Стоимость башни и резервуара въ рубляхъ	Средняя стоимость саж. — ведра башни въ руб.
			Въ кубсаж.	Въ ведр.		
			h.	V ₀		
Кегичевка, станція Харьково - Николаев. жел. дороги.	Кирпичная баш- ня съ фунда- ментомъ и цо- колемъ изъ гра- нитной бутовой кладки, на из- вестковомъ рас- творѣ.	4	8	6315	6750	0,267
Сахновщина, станц. Хар.-Никол. жел. дор.	„	4	8	6315	6765	0,268
Орелька, станція Харьково-Николаеве. желѣзной дороги.	„	4	8	6315	6668	0,263
Королевка, станція Харьково-Николаеве. желѣзной дороги.	„	4	8	6315	6470	0,256
Зеленая, станція Харьково-Николаеве. желѣзной дороги.	„	4	8	6315	6340	0,251
Копани, станція Южныхъ жел. дорогъ.	„	4,5	8	6315	4500	0,158
Херсонъ, станція Южныхъ жел. дорогъ.	„	6,25	12	9475	6500	0,110
Пятихатка, станція Харьково-Николаеве. желѣзной дороги.	„	5,74	12	9475	9270	0,170

Такимъ образомъ вышепоименованныя кирпичныя башенныя установки желѣзнодорожныхъ водоснабженій обходятся значительно дороже, а именно: въ 1,46 до 3,58 раза, не смотря на то, что примѣняя желѣзныя гиперболоидальныя башни, какъ самыя деше-

выя по дѣйствительной стоимости ихъ сооруженія, а также по стоимости ихъ содержанія и ремонта, желѣзныя дороги выиграли-бы также во времени наполненія водой локомотивовъ, ибо при желѣзныхъ башняхъ возможно безъ излишнихъ затратъ, по сравненію съ другими башнями, увеличить высоту напора и емкость резервуара.

Въ настоящее время гиперболоидальныя желѣзныя башни, въ техническомъ отношеніи и въ смыслѣ стоимости, настолько сильно конкурируютъ со всѣми прочими типами, что Сѣверная желѣзная дорога первая остановилась на этомъ типѣ (*) и заказала высокую башню системы инж. В. Г. Шухова Московскому заводу инж. А. В. Бари для своей станціи «Ярославль». Башня эта теперь исполняется на заводѣ и къ концу 1911 года будетъ установлена на мѣсто.

Основные размѣры этой башни, типъ конструкціи которой спроектированъ заводомъ въ первый разъ, заслуживаютъ интереса.

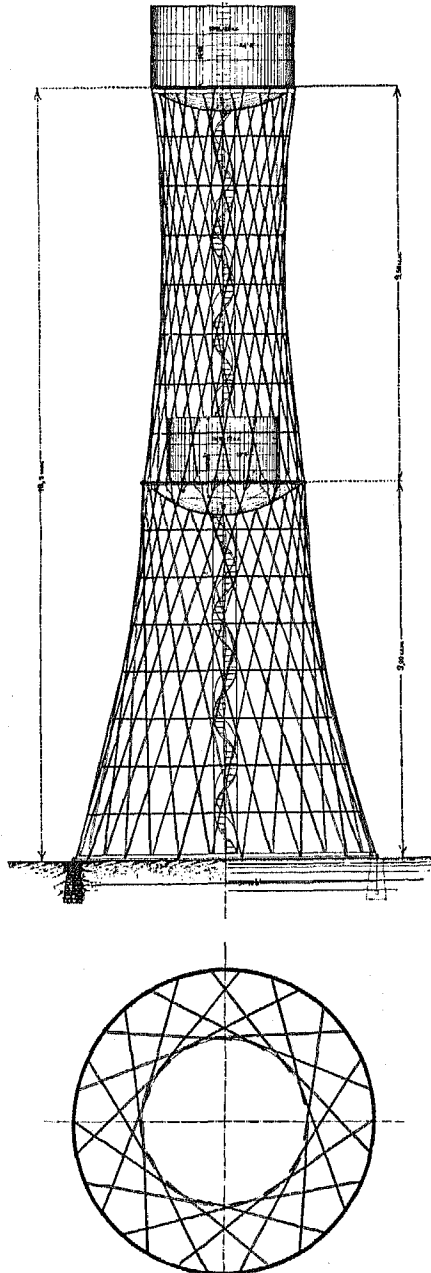
Водонапорная башня имѣетъ два желѣзныхъ резервуара, (см. фиг. 39): первый, емкостью 20 куб. саж. (**) высокаго давленія (противопожарный)—на высотѣ 18,5 саж. отъ уровня фундамента до цилиндрической части резервуара, и второй, емкостью 12 куб. саж. (***) низкаго давленія (для водоснабженія)—на высотѣ 9 саж., считая отъ уровня фундамента до цилиндрической части его резервуара. Тотъ и другой съ сферическими днищами. Верхній резервуаръ установленъ на верхнемъ жесткомъ кольцѣ гиперболоидальнаго остова, нижній-же подвѣшенъ къ среднему кольцу остова продолженіемъ своего свѣшивающагося днища.

(*) Дешевизна постройки гиперболоидальной башни, въ сравненіи съ устройствомъ каменныхъ и бетонныхъ, а также и желѣзныхъ другихъ системъ той-же высоты, была одной изъ причинъ, почему Управленіе Сѣверныхъ желѣзныхъ дорогъ остановилось на этой башнѣ спет. инж. В. Г. Шухова.

Проектъ башни, по разсмотрѣніи въ Управленіи Сѣверныхъ жел. дор., былъ посланъ въ Главное Управленіе Казенныхъ желѣзныхъ дорогъ, въ Петербургъ, гдѣ и былъ одобренъ.

(**) Діаметръ 24 фут. 6 дм., высота цилиндра 13 фут. 6½ дм., стрѣла днища 4 фут. 1 дм.

(***) Діаметръ 19 фут. 3 дм., высота цилиндра 13 фут. 9¾ дм., стрѣла днища 3 фута.



Фиг. 39.

Въ 1 : 380 натур. величины.

Железная башня системы инж. В. Г. Шухова, съ двумя резервуарами, общей емкости 25265 вед. воды — для водоснабженія ст. „Ярославль“ Сѣв. ж. д.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

Остовъ башни состоитъ изъ двухъ самостоятельныхъ гипер-
болоидовъ, которые соединяются между собою у среднего кольца
діаметра 28 футовъ.

Цѣль устройства двухъ гиперболоидовъ съ общимъ основані-
емъ введена инженеромъ В. Г. Шуховымъ для полученія возможно
большаго числа пересѣченій уголковъ стоекъ остова между со-
бою, что увеличиваетъ прочность при наименьшей затратѣ мате-
ріала и, какъ слѣдствіе, придаетъ всему сооруженію наиболѣе кра-
сивый видъ.

Нижній гиперболоидъ остова состоитъ изъ 30-ти уголковъ
сѣченія $4,5 \times 4,5 \times \frac{5}{8}$ дм., укрѣпленныхъ внизу къ опорному фун-
даментному кольцу діаметра 51 фут. 6 дм. и перевязанныхъ 7-ю
горизонтальными кольцами.

Поперечное сѣченіе фундамента—въ видѣ трапеціи съ пара-
лельными сторонами въ 2 ф. 4 дм. и 3 ф. 6 дм. и съ высотой
въ 7 футовъ.

Опорное кольцо остова башни прикрѣплено къ фундаменту
30-ю болтами діам. $1\frac{1}{2}$ дм.

Діаметръ окружности, по которой расположены фундаментные
болты,—51 ф. 10,5 дм.

При подобной установкѣ двухъ резервуаровъ, одинъ надъ дру-
гимъ на одной башнѣ, представляется возможность ихъ оборудо-
вать системой трубъ такъ, что въ случаѣ необходимости имѣть
большое давленіе въ иутевомъ кранѣ для скорѣйшаго снабженія
водой поѣздовъ большой важности, можно пользоваться для забора
воды изъ резервуара высокаго давленія. Кромѣ того—подобная си-
стема облегчаетъ въ значительной степени всякій ремонтъ резер-
вуаровъ и въ иѣкоторыхъ случаяхъ исключаетъ необходимость
устройства опасныхъ въ пожарномъ отношеніи и требующихъ ча-
стаго ремонта деревянныхъ павильоновъ или, такъ называемыхъ,
резервуарныхъ шатровъ.

Желѣзобетонная башня въ городѣ Зингенѣ (Германія) съ резервуаромъ полезной емкости въ 250 куб. метр. или 20250 вед. воды.

За послѣднее время бетонъ и желѣзо—(стале) — бетонъ все болѣе и болѣе получаетъ примѣненіе въ устройствѣ самыхъ разнообразныхъ сооруженій.

Примѣненіе его при устройствѣ канализаціонныхъ коллекторовъ, водопроводныхъ трубъ, плоскихъ и сводчатыхъ покрытій, свай, мостовъ, облицовокъ водосборныхъ колодцевъ и пр. даетъ богатый практическій матеріалъ, выясняющій и подтверждающій какъ прочность состава бетона, такъ и его неизмѣняемость.

Эти два качества бетона, а также простота и скорость его приготовленія — способствуютъ ускоренію и удешевленію производства работъ всякаго сооруженія изъ бетона и бетонъ-желѣза.

На ряду съ другими сооруженіями водопроводные инженеры за послѣднее дремя стали примѣнять желѣзо-бетонъ и для устройства башенъ съ водоемными резервуарами, которыя теперь успѣшно конкурируютъ съ кирпичными и каменными, и въ очень рѣдкихъ случаяхъ, а именно при весьма недорогой стоимости цемента и гравія—съ желѣзными башенными установками.

Нѣкоторые желѣзные дороги уже построили для своихъ водоснабженій желѣзо-бетонныя водоемныя зданія съ небольшою экономіей по сравненію съ кирпичными башнями.

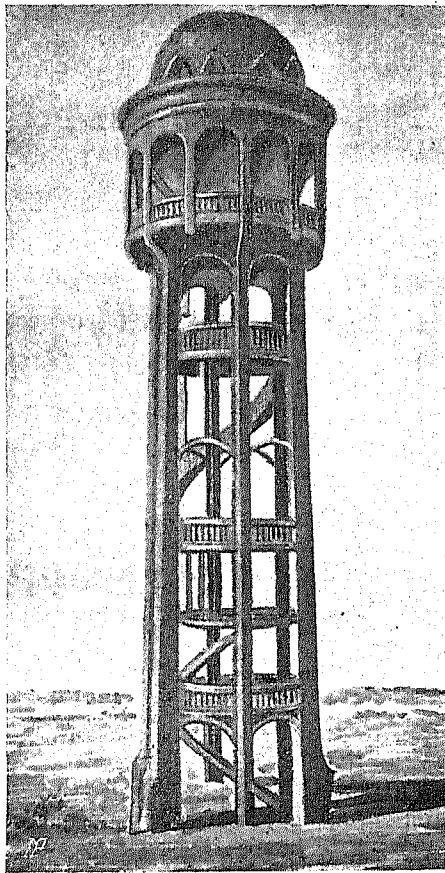
Наименьшая стоимость обыкновенной желѣзо-бетонной башни съ желѣзо-бетоннымъ резервуаромъ на 8 куб. сажень вмѣстимости и установленнаго, отъ головки рельса, на высотѣ 4 сажень —приблизительно 5,5 тысячъ рублей, что составляетъ среднюю стоимость саж.—ведра

$$m = \frac{5500}{6315.4} = 0,217 \text{ руб.},$$

т. е. дешевле большинства кирпичныхъ башенъ, по дорожке желѣзныхъ.

Одна изъ недорогихъ желѣзо-бетонныхъ башенъ — башня для водоемнаго резервуара въ городѣ Зингенѣ, въ Германіи (фиг. 40), высотой въ 48 метровъ.

Строитель-конструкторъ придалъ этому сооруженію очень смѣлую и изящную форму. Желѣзобетонные столбы или устои башни размѣщены по угламъ правильнаго шестиугольника и скрѣплены между собою тремя горизонтальными платформами, раздѣляющими всю башню на четыре яруса. Винтовая лѣстница ведетъ въ галерею, окружающую резервуаръ. Желѣзо-бетонный остовъ башни скрѣпленъ сводчатыми аркадами, расположенными между второй и третьей платформами.



Фиг. 40.

Желѣзобетонная башня въ г. Зингенъ (въ Германіи) съ резервуаромъ полезной емкости въ 20250 вед. воды. Высота башни 48 метровъ.

Цѣлость сооруженія представляется очень эффектно и внушительно. Резервуаръ башни, полезной емкости на 250 куб. метровъ воды, имѣетъ въ діаметрѣ 7,25 метр. при 7 метр. высотѣ.

Сверху резервуаръ прикрытъ шаровидной крышей, покоящейся на специальныхъ опорахъ желѣзной конструкціи.

Галлерея, окружающая резервуаръ, имѣетъ въ ширину 1,3 метра.

Желѣзо-бетонные устои башни имѣютъ внизу въ разрѣзѣ $2 \times 0,5$ метр., а вверху $0,6 \times 0,45$ метр.

Кольцеобразный бетонный фундаментъ, на которомъ покоится все сооруженіе, имѣетъ въ разрѣзѣ 4×2 метра.

Все сооруженіе съ резервуаромъ обошлось въ 22 тысячи руб. Исполненіе работъ продолжалось четыре мѣсяца.



Заканчивая настоящій литературный трудъ, въ которомъ привели нѣсколько примѣровъ сооруженныхъ башенъ, полагаемъ, что онъ въ достаточной степени освѣщаетъ всѣ основные вопросы строительства металлическихъ башенныхъ установокъ съ оборудованіемъ необходимыми трубами и измѣрительными приборами.

Достоинства металлическихъ башенъ для водоснабженій городовъ, посадовъ и мѣстечекъ очевидны, хотя-бы въ смыслѣ легкости, дешевизны и гигиеничности и не смотря на это они, конечно, еще не даютъ абсолютнаго основанія совершенно отказываться отъ башенъ другихъ системъ и изъ другихъ строительныхъ матеріаловъ. Вопросъ выбора водопроводной башни зависитъ отъ многихъ причинъ технического характера и отъ многихъ мѣстныхъ условій.

Напримѣръ, для водоснабженій съ суточнымъ разборомъ воды въ нѣсколько миллионовъ ведеръ, при способѣ подачи воды изъ источниковъ черезъ возвышенные мощные резервуары, въ большинствѣ случаевъ представляется выгоднымъ примѣнять каменные, кирпичные или желѣзо-бетонныя башни; кромѣ того, въ городахъ съ дешевымъ мѣстнымъ камнемъ или гравіемъ, цементомъ и пескомъ и при наличіи большихъ общихъ подрядовъ на каменные или желѣзо-бетонныя работы многихъ сооружений вновь строящихся водопроводовъ, можетъ представиться случай, что сооруженія каменныхъ или желѣзо-бетонныхъ башенъ окажутся не дороже металлическихъ и т. п.

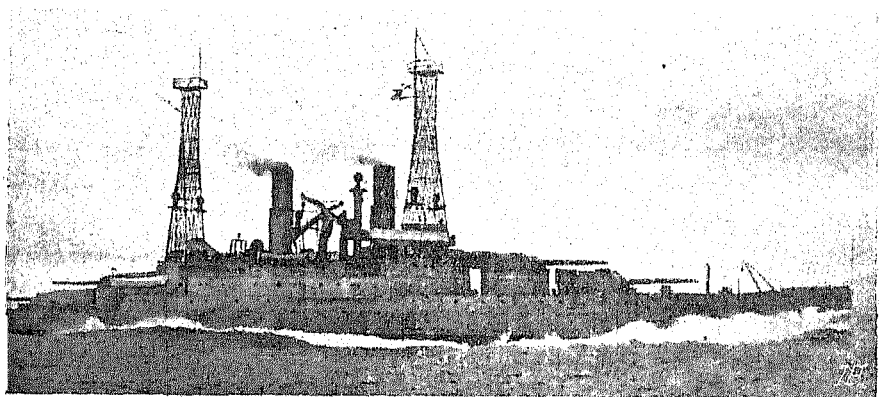
Наша задача заключалась въ возможно широкомъ освѣщеніи вопросовъ устройства, оборудованія и эксплуатаціи металлическихъ башенъ существующихъ водоснабженій городовъ и заводовъ и вслѣдствіе этого о современныхъ каменныхъ, кирпичныхъ и желѣзо-бетонныхъ башняхъ упоминали только настолько, насколько онѣ соприкасались при общихъ выводахъ и заключеніяхъ при соревнованіи цѣнъ. Нельзя обойти молчаніемъ, что каменные и кирпичныя башни въ большинствѣ случаевъ обходятся весьма дорого и что легкая гиперболическая желѣзная сѣтка системы инж. В. Г. Шухова представляетъ собой въ настоящее время настолько совершенный типъ металлической башни, что своевременное примѣненіе ихъ для водоснабженій на желѣзныхъ дорогахъ и въ городахъ дало-бы большія сбереженія строительнаго капитала. Затѣмъ, при проектированіи новыхъ городскихъ водопроводовъ, большей частью, емкости резервуаровъ кирпичныхъ и желѣзо-бетонныхъ башенъ рассчитываютъ съ большимъ запасомъ на 25—30 лѣтъ впередъ, между тѣмъ какъ подобныя мощныя башни очень часто не оправдываются выгодами эксплуатацій. Во первыхъ,—наибольшій разборъ воды изъ сѣти, по проекту, обыкновенно намѣчается въ одной или двухъ опредѣленныхъ частяхъ города, сообразно которымъ нерѣдко намѣчается мѣсто установки башни, а между тѣмъ жизнь и развитіе города могутъ совсѣмъ не оправдать проектныхъ предположеній и центръ тяжести наибольшаго разбора воды изъ сѣти можетъ оказаться, со временемъ, въ такомъ пунктѣ, для котораго построенная башня въ смыслѣ емкости своего резервуара окажется вполне достаточной, но въ смыслѣ напора—совершенно нераціональной. Строительный-же капиталъ на мощную башню, въ подобномъ случаѣ, ложится непосильнымъ бременемъ на эксплуатацію водопровода.

Въ виду этого примѣненія весьма недорогихъ желѣзныхъ башенъ системы инженера В. Г. Шухова въ подобныхъ случаяхъ представляютъ замѣтныя выгоды, ибо онѣ даютъ возможность, при сооруженіяхъ новыхъ водопроводовъ, безъ ущерба для ихъ правильныхъ эксплуатацій и на первое время останавливаться на резервуарахъ небольшой вмѣстимости и съ расчетомъ не на 20—30 лѣтъ впередъ, а всего лишь на 10 лѣтъ.

По истеченіи-же этого срока — само развитіе водопровода укажетъ болѣе выгодное мѣсто установки *второй* башни, которое позволитъ наиболѣе рационально и весьма дешево использовать обѣ башни не только въ смыслѣ общей емкости ихъ резервуаровъ, но и въ смыслѣ напора воды. Выгодное соотношеніе искусственныхъ напорныхъ горизонтовъ въ возвышенныхъ резервуарахъ башенъ влечетъ за собою болѣе равномерное распредѣленіе потерь напора въ участкахъ водопроводной сѣти, — условіе въ высшей степени цѣнное для всякаго водопровода.

Въ дополненіе къ изложеннымъ преимуществамъ металлическихъ башенъ считаемъ необходимымъ упомянуть, что легкая и простая въ смыслѣ сборки система инж. В. Г. Шухова особенно выдѣляется изъ цѣлаго ряда другихъ металлическихъ конструкций и пользуется въ послѣднее время замѣтнымъ распространеніемъ, не только въ области водопроводной техники, но и въ другихъ ея областяхъ.

Американскій флотъ гиперболоидальную сѣтку примѣняетъ для устройства мачтъ съ наблюдательными вышками для своихъ судовъ (фиг. 41), какъ наиболѣе легкую, устойчивую и съ меньшимъ сопротивленіемъ воздуху, при движеніи судна. Подобную мач-



Фиг. 41.

Американскій дредноутъ „Мичиганъ“ съ гиперболоидальными сѣтчатыми мачтами.

ту сѣтчатого типа труднѣе привести въ полную негодность однимъ снарядомъ выстрѣла, чѣмъ сплошную (*).

Въ настоящее время заводомъ инж. А. В. Бари заканчиваются сооруженіемъ два гиперболоидальныхъ маяка, Станиславъ—Аджигіольскій, подъ Херсономъ. Одинъ изъ нихъ изображенъ на фиг. 42-й.

Хотя разсмотрѣніе маяковъ не входитъ въ программу настоящаго труда, но въ виду исключительности этихъ высокихъ сооружений, впервые строящихся въ Россіи, считаемъ необходимымъ упомянуть объ ихъ основныхъ размѣрахъ.

1) Станиславскій маякъ.

Маякъ на свайномъ основаніи, съ гранитнымъ настиломъ, собранъ, какъ гиперболоидъ вращенія, изъ 48 стоекъ изъ углового желѣза $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ и $3 \times 3 \times \frac{5}{16}$ дм., перевязанныхъ 11 горизонтальными кольцами, не считая верхняго и фундаментнаго. Опорное кольцо, въ видѣ 16-ти угольника, составлено изъ двухъ уголковъ $4 \times 4 \times \frac{3}{8}$ дм. и горизонтальной полосы 12×325 м.м., діаметръ вписанной окружности его 9 метр.

Верхнее кольцо имѣетъ діам. 5,1 метра. Высота маяка отъ фундамента до центра огня 26,8 метр., а до шпилья 28,55 метр.

Въ фундаменту маякъ укрѣпленъ 48 болтами, діам. $1\frac{3}{8}$ дм. и длиной 2,375 метр.

Въ верхнему желѣзному помѣщенію ведетъ винтовая центральная лѣстница, въ закрытой трубѣ діам. 2 метра, съ 4 площадками, окнами и откидными стульями.

Всѣхъ металлической конструкціи около 3500 пудовъ.

(*) Мачты сѣтчатого типа у насъ установлены на броненосцахъ „Андрей Первозванный“ и „Павелъ I“ всего два года тому назадъ.

Они болѣе тяжелаго типа и имѣютъ горизонтальное сѣченіе въ видѣ эллипса.

Оси эллипса вверху 5 и 6 фут., а внизу 8 и 12 фут. Высота мачтъ надъ палубой около 80 фут. Обѣ мачты каждаго судна собраны изъ трубъ, постепенно уменьшающихся въ діаметръ отъ 6 до 3 дм. Горизонтальные кольца изъ стальныхъ полосъ съ распорками по двумъ осямъ изъ стали корытнаго профиля.

Мачты предназначены для самой ничтожной нагрузки въсомъ около 2 тоннъ.

2) Аджигольскій маякъ.

Этотъ маякъ ообранъ изъ 60 стоекъ, угловое желѣзо которыхъ по размѣрамъ представляется въ слѣдующемъ видѣ:

1	друсъ	$100 \times 100 \times 11$	м.м.
2	»	$90 \times 90 \times 12$	»
3	»	$90 \times 90 \times 11$	»
4	»	$90 \times 90 \times 9$	»
5	»	$80 \times 80 \times 8$	»
6	»	$60 \times 60 \times 8$	»

Стойки перевязаны 27-ю горизонтальными кольцами, не считая фундаментнаго. Сѣченія углового желѣза колецъ отъ $60 \times 60 \times 8$ м.м. до $100 \times 100 \times 12$ мм. Фундаментное кольцо, въ видѣ 60-угольника описаннаго около окружности діам. 18 метр, собрано изъ 60 паръ швелеровъ № 18 съ горизонтальной опорной полосой 20×250 м.м. Верхнее кольцо гиперboloида маяка имѣетъ діам. 7 метр.

Высота маяка до центра огня 68 метр., а до шпиля 71,58 метр.

Къ фундаменту остовъ маяка прикрѣпленъ 60-ю болтами, діам. $2\frac{1}{4}$ дм. и длиной 3,3 метра.

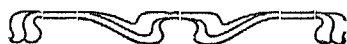
Центральная винтовая лѣстница, съ 12 площадками, заключена въ сплошную трубу изъ листового желѣза діам. въ 2 метра, съ 12 окнами.

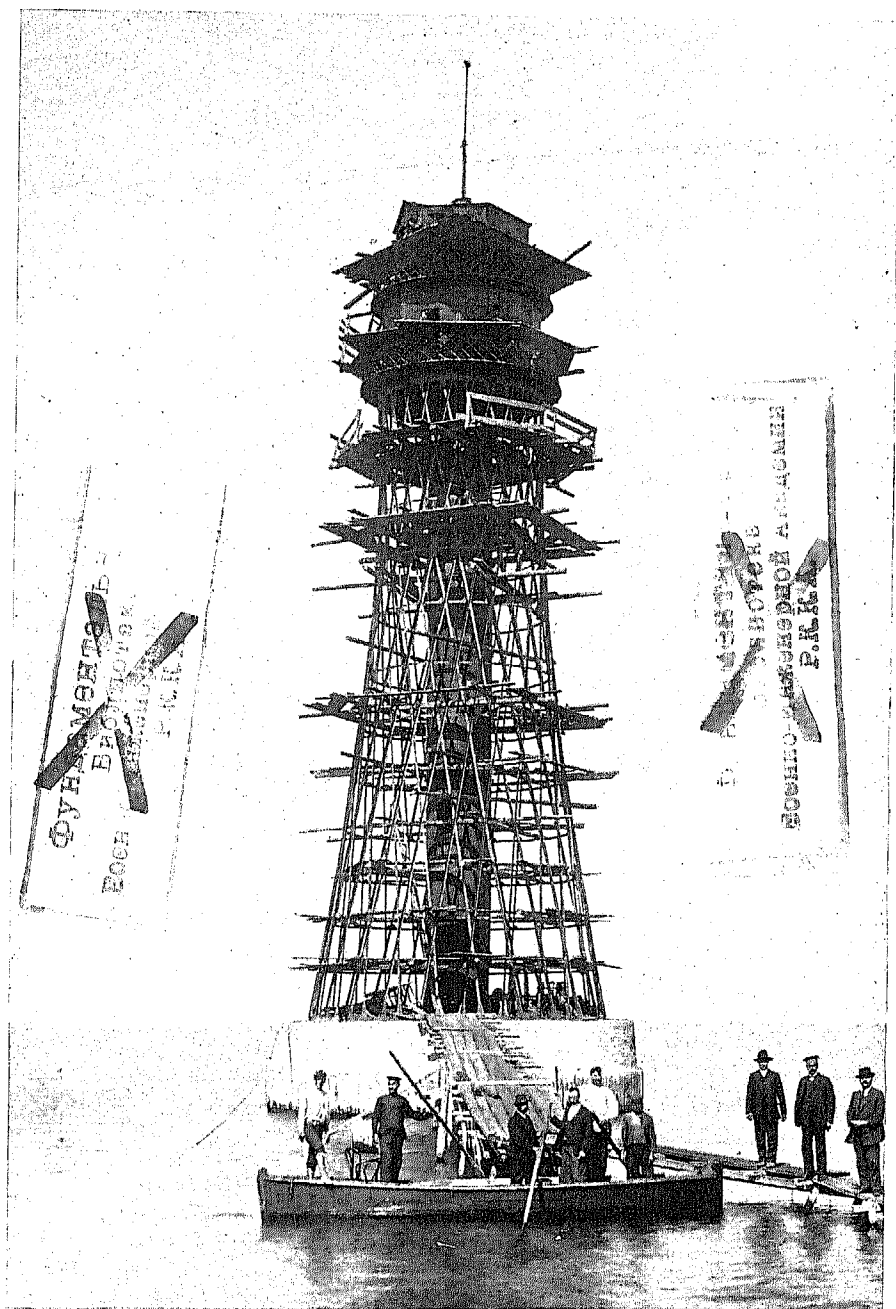
Верхнее желѣзное помѣщеніе маяка 8-угольное.

Вѣсъ всей системы около 8500 пудовъ.

Оба маяка вѣсятъ около 12 тысячъ пудовъ и обойдутся заводу не менѣе 45 тысячъ рублей.

Кромѣ указанныхъ примѣровъ, легкая гиперboloидальная конструкция можетъ получить большое распространеніе для устройства плавучихъ маяковъ, пожарныхъ вышекъ, антенъ беспроводныхъ телеграфовъ и пр. сооружений.





Фиг. 42.

Станиславскій гиперболоидальный желѣзный маякъ подъ Херсономъ
(По проекту инж. В. Г. Шухова).