

М Н 7

801-18
1641

Желѣзныя
водопроводныя башни.
Ихъ назначеніе,
конструкціи и расчеты.

XI-34161



Инженеръ Дм. Петровъ.



НИКОЛАЕВЪ.

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



2014284296

Большинство городскихъ 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 первая, съ теоретической и практической сторонъ дѣла, чего нельзя сказать о желѣзныхъ сѣтчатыхъ, такъ называемыхъ ажурныхъ башняхъ или вышкахъ, получающихъ только теперь замѣтное и вполнѣ заслуженное распространѣніе 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.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

	стр.
Желѣзныя водопроводныя башни. Ихъ назначеніе, конструкции и расчеты. (Общій обзоръ).	5
Таблица желѣзныхъ башенныхъ установокъ на русскихъ 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 уравнительныхъ резервуаровъ существующихъ водопроводовъ.	27
Оборудованіе башенъ.	37
Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инце — полезной емкости на 65 тыс. вед. воды и съ водонепроницаемой фундаментной галлереей.	40
Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 50 тысячъ ведеръ воды.	52
Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 22865 ведеръ воды и съ водонепроницаемой фундаментной камерой.	63
Желѣзная уравнительная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 33350 ведеръ воды и съ водонепроницаемой фундаментной галлереей.	68
Желѣзная уравнительная башня Херсонскаго водопровода съ резервуаромъ полезной емкости на 42500 вед. воды.	81
Желѣзная водонапорная башня Николаевского городского 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. Оловянишникова 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 Макѣевѣ съ резервуаромъ полезной емкости въ 24 тыс. вед. воды.	119
Желѣзная водопроводная башня въ Гродзенѣ 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 башенъ.	122
Желѣзо-бетонная башня въ гор. Зингенъ (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 функционированія 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, *частью* 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 уравнивательныхъ 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. резеруара въ футахъ	Емкость резеруара въ ведр.	Конструкція остова башни
1	Николаевъ — городской водопроводъ	84	50000	Желѣзная сѣтка остова, — гиперболоидъ вращения, — системы инж. В. Г. Шухова.
2	Херсонъ — городской водопроводъ, принадлежащій Пастухову	42	42500	Желѣзные устои изъ вертикальн. фермъ, перевязанные горизонтальными кольцами изъ углового желѣза и скрѣпленные вѣтровыми связями.

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. резеруара въ футахъ	Емкость резеруара въ ведр.	Конструкція остова башни
3	Армавиръ — водопроводъ	42	10000	6 чугунныхъ колоннъ, связанныхъ между собой скрѣпленіями изъ углового жел.
4	Самара — водопроводъ казеннаго трубчатого завода.	120	15000	
5	Коломна — водопров. города	120	10000	
6	Ефремовъ — гор. водопроводъ	56	10000	Желѣзная сѣтка остова, — гиперболоидъ вращения, — системы инж. В. Г. Шухова.
7	Ярославль — водопроводъ завода Торгово-Промышленнаго Товарищ. «П. И. Оловянишникова С-я»	56	10000	
8	Москва — водопроводъ винокуреннаго завода Б. А. Гивартовскаго	56	10000	
9	Кокандъ — водопров. маслобойнаго завода Андреевскаго Торгово-Промышленнаго Товарищества	56	10000	
10	Село Сторожево (Рязанской г.), водопроводъ П. С. Нечаева-Мальцева	84	9500	

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. резервуара въ футахъ	Емкость резервуара въ ведр.	Конструкція остова башни
11	Царицынъ на Волгѣ. Уральско-Волжское Металлургическое Общество	50	3000	Желѣзная сѣтка остова, — гиперболюидъ вращения, — системы инж. В. Г. Шухова.
12	Москва—Симоново, — водопроводъ завода Центрального Электрическаго Общества	82	2300	
13	Любимовскій Постъ (Екатеринославск. губ.) Донецкій содовый заводъ «Любимовъ, Сольва и К ^о »	72	2250	
14	Андижанъ — водопроводъ Товарищества «В. Алексѣевъ»	42	1000	
15	Гродзецъ, водопроводъ на территории копей Гродзецкаго Общ. Копей Угля и Промышленныхъ заводовъ въ Гродзѣцѣ	73,5	8000	Башня устроена изъ листового желѣза, безъ всякихъ внутреннихъ скрѣпленій, въ формѣ установленныхъ другъ на друга конусовъ.

Изъ этихъ 15 желѣзныхъ башенъ разныхъ типовъ, самой большой по емкости резервуара—50 тыс ведеръ—является гиперболюидальная, ажурная башня Николаевского городского водопровода, затѣмъ башня съ простымъ рѣшетчатымъ остовомъ водопровода города Херсона; большей-же частью преобладаютъ башни съ резервуаромъ въ 10 тысячъ ведеръ.

Практика водопроводнаго дѣла послѣднихъ двадцати лѣтъ, за какое время главнымъ образомъ построены вышеперечисленные 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 гиперболюидальнымъ 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. сложн. процентовъ).

n — средний наибольшій разборъ воды въ сутки однимъ жителемъ.

Рѣшая систему уравненій—находимъ:

а) для города без канализации $V=0,30$. п. P_1 или

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

б) для города с канализацией $P_2 = \frac{V}{0,60 \cdot n}$

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 съ 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 распространеніе 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 остововъ башенъ, устраивать 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 паивыгодности устройства водоснабженія

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

Изъ дальнѣйшаго описанія и изъ техническихъ расчетовъ отдѣльныхъ конструкцій 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 дна 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 дна 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	296373	0,141
Кіевъ, городск. 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.—Стап- ція Южныхъ ж. д.—водопро- водъ.	„	4,50	6315 (8 к. с.)	4500	0,158

(*) Согласно утвержденной Думою смѣты № 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. — вед.
		h	V	P.	$m = \frac{P}{h \cdot V}$
Зингенъ, (во- дотр.) 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 сист. 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 трубчана- го завода,	Гиперболоидальная ажур- ная башня сист. В. Г. Шу- хова съ желѣз. резервуа- ромъ и необходимымъ обор.	17,15	15000	18000	0,069
Москва, водо- проводъ заво- да Гинвартов- скаго.	Гиперболоидальная желѣз- ная башня сист. инж. 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- дотр. гор.- 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 Николаевскаго 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 конструкций отъ 0,098 р. до 0,133 р.

Такимъ образомъ по принятой формулѣ—сравненія, $m = \frac{P}{h \cdot V}$, желѣзныя башни сист. ниж. 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 конструкции сист. Шухова, что особенно желательно въ слѣдующемъ отношеніи:

1. Какъ новый водопроводъ, онъ дастъ 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 1,5%.

Въ виду малаго числа соевнователей, 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 кондцій, были вновь назначены торги съ смѣтной цѣны почти 40 тысячъ руб; причемъ на торгахъ были заявлены соевнователями 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 проходило въ періодъ политическихъ неурядицъ и забастовокъ 1906 года.

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

Кромѣ перечисленныхъ проекговъ, 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 стоимость 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 построилъ 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. Водонапорная желѣзная башня системы инж. В. Г. Шухова съ резервуаромъ Интце, 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.

Всего 35638 р. 99 к.

Сравнивая эту полную стоимость сооруженія 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 желѣзные 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 желѣзные 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 разсмотримъ главныя 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 собственного 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 сооруженія желѣзной башни, съ резервуаромъ безъ воды, въ г. Николаевѣ.

$P_0 = 6025$ пудовъ.

Жел. вод. башни.

Полный вѣсъ воды, поддерживаемый башней въ резервуарѣ=51349 ведръ 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 среднего 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 Гивартовскаго, въ Москвѣ, только что заканчивается постройкой желѣзная гиперболоидальная башня системы инж. В. Г. Шухова, вѣсомъ 1100 пудовъ, съ емкостью резервуара на 10,000 ведръ. 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 выпучиванія грунта черезъ подошву, а именно:

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

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:

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

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 тяжелых башен, т. е. каменных и кирпичных—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 2¹/₂ 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 мощнаго бетоннаго монолита или въ видѣ бетоннаго массива съ заложениемъ 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 (гравій, песокъ плотно слежавшійся)	4,50	килогр.	на 1 кв. саж.
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 мощности	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, содержащимъ воду грунтѣ, при употребленіи свайнаго основанія или ростверка—давленіе возможно допускать не выше 2 килогр. на 1 кв. сан., 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. Гинкастѣ, 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 течи въ стыкахъ близъ лежащихъ трубъ башни, или даже въ случаѣ неожиданнаго полнаго разрыва какой либо изъ ея трубъ большаго діаметра.

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

Послѣднія фундаментныя помѣщенія представляютъ возможность, для удобства и постояннаго надзора, располагать открытыми отъ засыпки всѣ необходимыя трубы башни, съ соответствующими 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, по вместимости 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 колодезю. По стоку воды изъ этихъ каналовъ возможно судить о течи трубъ. Заложка 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 мѣтъ, 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
- в) высоты въ 10 футъ водяного столба—для образованія полезной скорости истечения и на другія вредныя сопротивленія.

Для опредѣленія высоты H —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 рассчитываются и при полной нагрузкѣ на продольный изгибъ по фор. Эйлера или Шварца, то желательнѣе 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-

належь квадрату ея свободной длины, а потому быстро уменьшается при возрастании этой длины; скрепление же массивных колонн частыми горизонтальными желѣзными кольцами — слишком 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 копусовъ, склепанныхъ изъ котельнаго листового желѣза, безъ всякаго внутренняго устройства, каркаса, и колець жесткости, напр. желѣзная башня въ Гродзецѣ, высотой до цилиндрической части резервуара 22,9 метра.

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

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

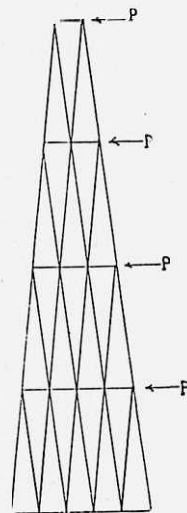
Представимъ себѣ двѣ конструкціи желѣзныхъ фермъ, стоящихъ вертикально и подверженныхъ дѣйствию горизонтальныхъ силъ (дѣйствию вѣтра). Простой расчетъ покажетъ, что произведеніе усилий, вызываемыхъ въ частяхъ фермъ на ихъ длину — будетъ для фиг. 1-й, — сѣтчатой, меньше, чѣмъ для фиг. 2-й, слѣдовательно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

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

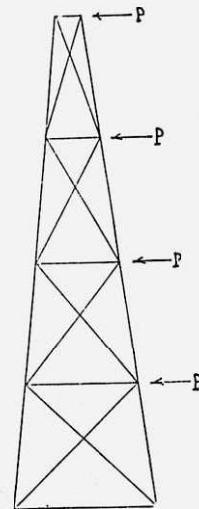


сѣтчатой гиперболической башнѣ сумма произведеній усилий на длину частей будетъ для сѣтчатой башни меньше, чѣмъ для обыкновенной. Кроме того, въ гиперболическихъ башняхъ усилія вѣтровыхъ связей принимаются

тѣми же элементами башни, которые поддерживаютъ вертикальную нагрузку, а потому количество матеріала, идущее на ихъ устройство будетъ меньше. Практическое осуществленіе гиперболическихъ 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 соединеній 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. Бари — изготовляющему ихъ, за 16 лѣтъ поставить въ разныхъ мѣстностяхъ 13 башенъ съ резервуарами отъ 1000 до 50 тысячъ ведеръ и два желѣзныхъ маяка, Станиславъ-Аджигольскихъ, 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, которыя 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 менѣ суммы объемовъ, представляющихъ каждый разность между часовымъ количествомъ воды, доставляемой насосами и количествомъ расходуемой, взятыхъ за всѣ часы сутокъ съ разборомъ воды изъ сѣти менѣ средняго часового. Для запаса на случай пожаровъ принимаютъ необходимымъ имѣть въ резервуарѣ дополнительное количество воды, равное такому, каковое могутъ одновременно изливаться 3 или 6 пожарныхъ гидрантовъ (каждый не менѣ 35 ведеръ въ минуту) въ теченіе одного или двухъ часовъ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій. На основаніи этихъ соображеній и данныхъ практики существующихъ водоснабженій городовъ—емкость водонапорныхъ резервуаровъ возможно находить изъ слѣдующихъ формулъ:

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

гдѣ Q —среднее суточное количество расходуемой 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 уравнительнаго резервуара, то ниже приведемъ нѣсколько примѣровъ небольшихъ существующихъ водоемовъ, въ связи съ суточнымъ разборомъ.

Таблица емкостей резервуаровъ существующихъ водопроводовъ.

	Емкость уравнительнаго резервуара	Средній суточный разборъ воды въ 1907 или 1908 гг.	Наибольшій суточный разборъ воды	Наименьшій суточный разборъ воды	$V = m \cdot Q$	$V = n \cdot Q \text{ max}$	$V = p \cdot Q \text{ min}$
	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 человекъ—возможно при расчетахъ водопроводовъ

принимать полезную емкость уравнилельных 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—уравнилельные водоемы возможно устраивать емкостью

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

Кромѣ водонапорныхъ и уравнилельныхъ 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 уравнилельнаго контръ-резервуара желательно брать не менѣ половины водонапорнаго, т. е.

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

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

Задаваясь при проектированіи полезнымъ объемомъ резервуара, необходимо стремиться получить его наивыгоднѣйшихъ размѣровъ, т. е. при наименьшей затратѣ желѣза. Для цилиндрическаго резервуара съ плоскимъ днищемъ наивыгоднѣйшіе размѣры опредѣляются 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

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

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

Эту первую производную приравниваемъ нулю и находимъ, что

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

$$D^2 = 2. F = 2. h. D$$

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

Полезный объемъ резервуара будетъ

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

Откуда

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

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

$$f = 0,134. D$$

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 разсматриваемый полукольцевой вырѣзокъ резервуара будетъ находится въ равновѣсіи:

$$S = 2. r. p.$$

гдѣ r —радіусъ резервуара и

p —давленіе на кв. единицу площади.

Дѣйствительно,

$$S = \int_0^\pi d S. p. \sin \alpha = p \int_0^\pi d S \sin \alpha =$$

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

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

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

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

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

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:

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

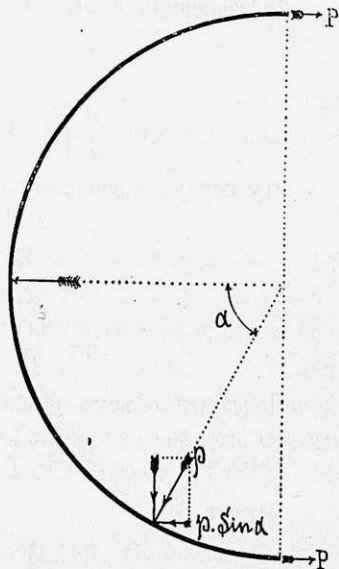
Прибавляя къ этой расчетной толщинѣ стѣнки на изнашивание (ржавчина, очистка бака при окраскахъ, ослабленіе заклепками и пр.) величину δ_1 , равную

отъ 3 до 5 м. м.

Получимъ окончательный видъ формулы

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

Если r, h — въ метрахъ



Фиг. 3.

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

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

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

$$t = 3.d + 5 \text{ м. м.}$$

и разстояніе отъ центра до края листа

$$e = 1.5.d + 3 \text{ м. м.}$$

Для двухряднаго шва

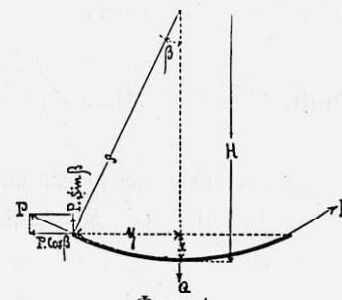
$$t = 4.d + 8 \text{ м. м.},$$

а разстояніе между рядами

$$e_1 = 1.75.d$$

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

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



Фиг. 4.

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

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

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

$$Q = 2. \pi. y. P. \sin \beta$$

Откуда:

$$P = \frac{Q.}{2. \pi. y \sin \beta.} = \frac{Q. \rho.}{2 \pi. y^2.}$$

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

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

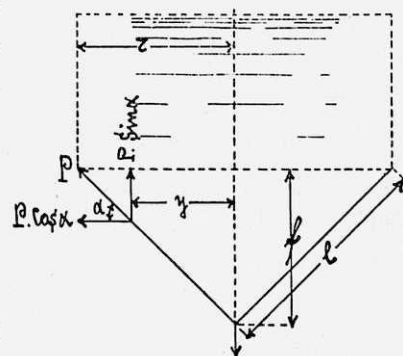
Прибавляя на износъ δ_1 отъ 3—5 м.м.

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

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

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

Для конического днища можемъ написать на основаніи предыдущихъ соображеній, 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 $2 \cdot \pi \cdot y \cdot K \cdot \sin \alpha = \pi \cdot y^2 \cdot \Delta \cdot (H - x)$, а именно:

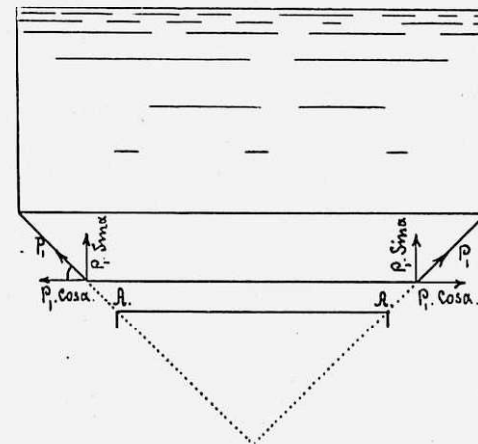
$$K = \frac{\Delta \cdot y \cdot (H - x)}{2 \sin \alpha} = \frac{\Delta \cdot l \cdot y \cdot (H - x)}{2 f}$$

Напряженія эти въ вершинѣ равны 0 и увеличиваются къ опорѣ.

Въ томъ случаѣ, если коническое дно резервуара продолжить до опоръ А, или опоры (А) приблизить къ вершинѣ, то вмѣсто растягивающихъ усилій P , получатся сжимающія усилія P_1 (Фиг. 6), величина которыхъ опредѣляется изъ уравненія:

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

гдѣ Q_1 —вѣсъ воды въ наружной части резервуара. Величина P_1 —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 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.



Фиг. 7.

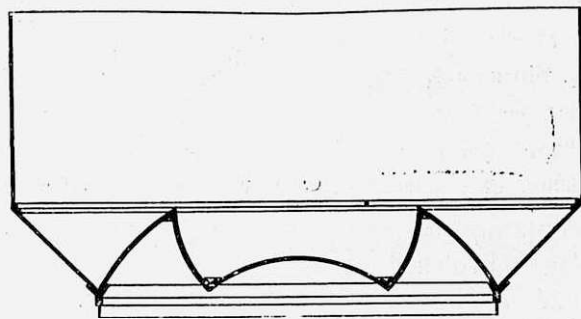
Наполненъ-ли резервуаръ водою или нѣтъ—діаметръ опорнаго кольца не измѣняется, а поэтому и кольцо не измѣняетъ своего положенія. Исходящія изъ опорнаго кольца части днища—наклон-

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 использования, Инце предложилъ другой типъ днища, изображенный на фиг. 8.

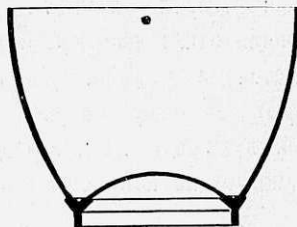


Фиг. 8.

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 въ слѣдствіи 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 устранять 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 вѣсомъ, превышающимъ собственный вѣсъ 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 вполне 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 водой и расширяясь при опорожненіи. При большой емкости—закленки, соединяющія закраины дна съ цилиндрической стѣнкой резервуара—подвергались значительнымъ разрывающимъ усилямъ, 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 выбирать 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).
Кієвъ	+	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 сѣть—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 теплой, 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 болѣею 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 человека.

Иногда деревянные стѣнки павильона обшиваютъ однимъ или нѣсколькими рядами войлока, съ прокладкой хмѣля отъ моли. Войлокъ покрываютъ дранью 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 болѣею выгодой, по сравненію съ существующими, болѣею 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 эксплуатации. 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 попадания въ сѣть осадковъ воды.

Для уравнительнаго резервуара—устанавливается одна общая 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.)

$q = \frac{Q}{24.3600}$ — 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

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

Разводящая-же труба рассчитывается по наибольшему секундному разбору воды.

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

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

гдѣ V —емкость резервуара,

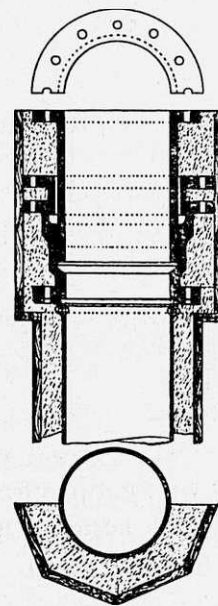
t —число часовъ, въ которые разборъ воды болѣе средняго часового.

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

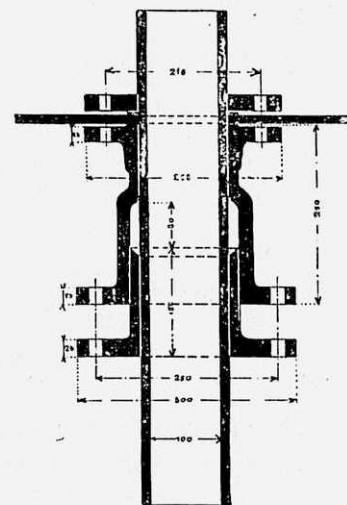
Нагнетательныя и разводящія желѣзныя трубы, подѣ резервуаромъ, устанавливаются вертикально и прочно укрѣпляются къ его днищу. Въ случаѣ деформации днища резервуара и желѣзнаго остова башни, отъ измѣненія температуры ихъ матеріала и нагрузки, для предупрежденія разстройства плотности стыковъ трубъ, послѣднія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

Наиболѣе распространенные типы компенсаторовъ изображены на фиг. 10 и 11.

Обѣ указанныя конструкціи представляютъ собой обыкновенные сальники, удобные для сборки и компактные. Одинъ изъ нихъ (фиг. 10) показанъ въ обмуровкѣ изоляціоннаго покрова, состоящаго изъ пробковой массы, прилегающей непосредственно къ сальнику и трубѣ и изъ деревянной наружной обшивки.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

Иногда употребляются для этой-же цѣли, сравнительно недорогіе компенсаторы, въ видѣ двухъ выпуклыхъ тарелокъ или дисковъ, (см. фиг. 12—въетовую трубу башни). Большей частью эти диски изготовляютъ, изъ экономическихъ соображеній, изъ желѣза, а поэтому для трубъ большого діаметра и большой длины они получаются большими, что заставляетъ ихъ устанавливать для двухъ рядомъ стоящихъ трубъ въ разныхъ горизонтальныхъ плоскостяхъ. Кромѣ того дисковые компенсаторы, во избѣжаніе замерзанія воды застаивающейся у краевъ тарелокъ, требуютъ болѣе мощной изоляціи и вся система двухъ такихъ компенсаторовъ, со своей обмуровкой, занимаетъ слишкомъ много мѣста подѣ днищемъ резервуара, что затрудняетъ осмотръ и его ремонтъ. Въ виду этихъ соображеній, дисковые компенсаторы устанавливаютъ на обшихъ трубахъ небольшого діаметра въ уравнивательныхъ башняхъ.

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

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

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

Кромѣ этого резервуары башенъ должны имѣть хорошую вентиляцію и громоотводъ.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инце—полезной емкости на 65 тыс. ведеръ воды и съ водонепроницаемой фундаментной гал- лереей. (**)

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 равнодѣйствующей были равны между собою, т. е. чтобы

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

и тогда $F_1 = F_2$

Сила F₁ 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 наивышей точки сферическаго днища и высоты резервуара отъ наинишей точки его;

d—діаметръ опорнаго кольца резервуара.

Сила F₂ — 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 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.

Наивыгоднѣйшую 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:

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

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

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

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

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:

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

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 приблиз. 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:

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

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 —радіусъ 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, изнашивание и пр.

1. Верхній конусъ резервуара:

$$\delta_1 = \frac{1,72 \cdot (9,25 - 1) \cdot 1,42 \cdot 17,5}{12 \cdot 395} + 0,11 = 0,16 \text{ дм.}$$

принято $\delta_1 = \frac{3}{16}$ дм.

2. Первый поясъ цилиндрической части резервуара:

$$\delta_2 = \frac{1,72 \cdot 12,25 \cdot 18,5}{12 \cdot 395} + 0,11 = 0,18 \text{ дм.}$$

принято $\delta_2 = \frac{3}{16}$ дм.

3. Второй поясъ:

$$\delta_3 = \frac{1,72 \cdot 16,25 \cdot 18,5}{12 \cdot 395} + 0,12 = 0,21 \text{ дм.}$$

принято $\delta_3 = \frac{7}{32}$ дм.

4. Третій поясъ:

$$\delta_4 = \frac{1,72 \cdot 20,25 \cdot 18,5}{12 \cdot 395} + 0,12 = 0,25 \text{ дм.}$$

принято $\delta_4 = \frac{1}{4}$ дм.

5. Четвертый пояс:

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

принято $\delta_5 = 1/4 \text{ дм.}$

6. Пятый пояс:

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

принято $\delta_6 = 3/8 \text{ дм.}$

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

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

принято $\delta_7 = 5/12 \text{ дм.}$

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

$$\delta_8 = \frac{\Delta \cdot h \cdot R}{2 \cdot 12 \cdot R_1} + \delta_0 = \frac{1,72 \cdot 29,25 \cdot 9,25}{12 \cdot 395} + 0,13 = 0,23 \text{ дм.}$$

принято $\delta_8 = 1/4 \text{ дм.}$

Для большей жесткости стѣнокъ резервуара, послѣдній имѣеть:

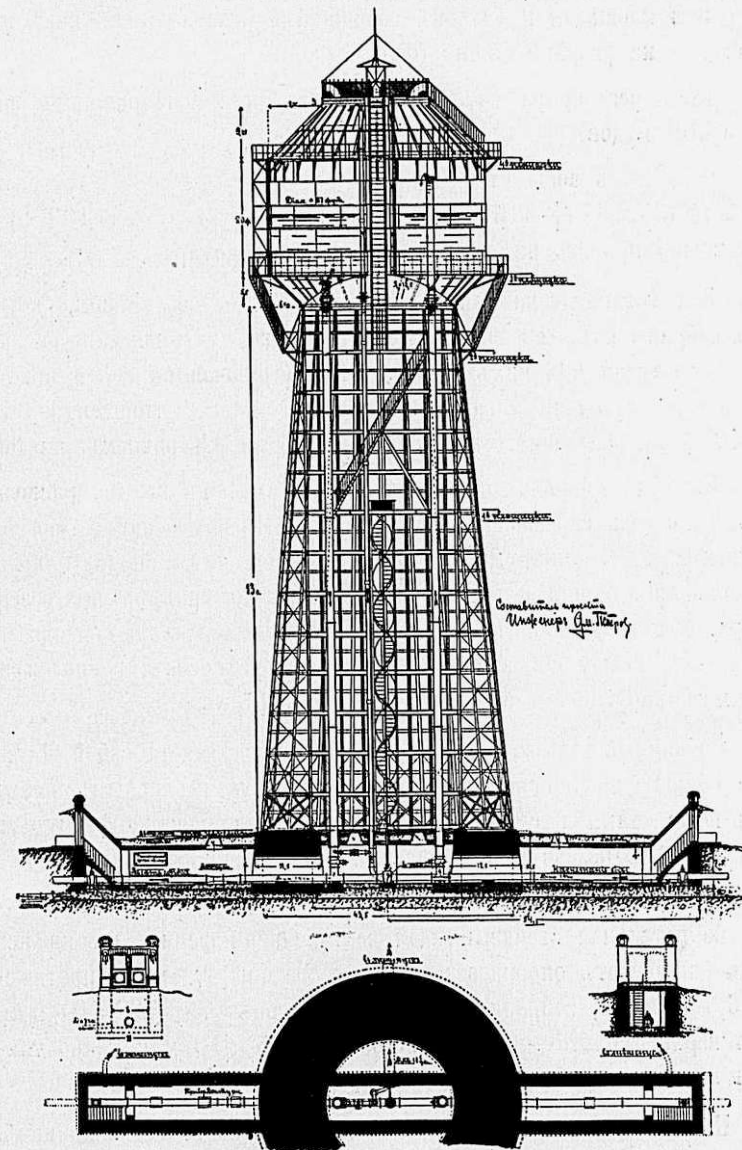
1) въ верхнемъ и нижнемъ конусахъ, на внутренней поверхности приклепаны изъ углового желѣза $50 \times 50 \times 5 \text{ м.м.}$ — такъ называемыя ребра жесткости;

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

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

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, окружаютъ легкія площадки для удобства окраски, ремонта и осмотра резервуара. Нижнюю-же цилиндрическую часть резервуара, снаружи, окружаетъ прочный балконъ



Фиг. 12.

Въ $\frac{1}{850}$ натур. величины.

Желѣзная 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).

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

Всѣ воды въ резервуарѣ:
 $0,75. (55352,67 + 13143,86) = 51372,40$ пуд. $= \infty 51400$ пуд.,
 что можно принять на случай перелива резервуара.

Вся эта нагрузка давить на желѣзный остовъ башни, который собранъ изъ 20 вертикальных 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.

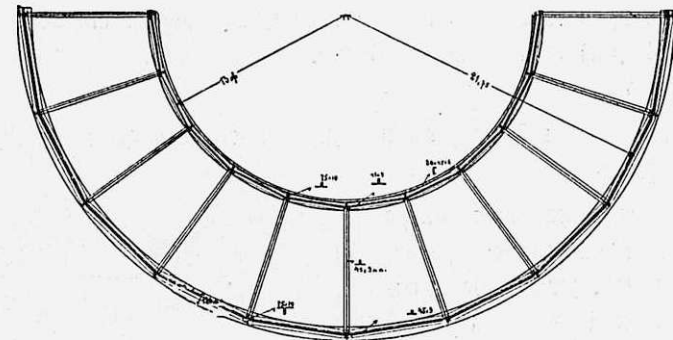
Собранный такимъ образомъ остовъ представляетъ собой устойчивую башню, прочно сопротивляющуюся, какъ вертикальнымъ силамъ вѣса воды, такъ и силѣ вѣтра. Давленіе на каждую ферму отъ вѣса воды въ резервуарѣ и вѣса самого резервуара равно:

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

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 $75 \times 75 \times 10$ м.м., а въ верхней части—изъ уголковъ $65 \times 65 \times 10$ м.м.; точно также и наклонная часть треугольной фермы.

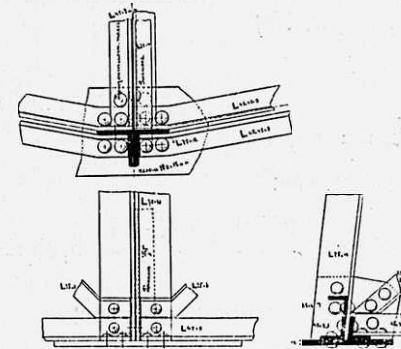
Нижніе узлы фермъ опираются на два кольца, склепанныхъ изъ котельнаго желѣза размѣровъ $180 \text{ м.м.} \times 12 \text{ м.м.}$ (фиг. 13).

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 $75 \times 75 \times 10$ 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: $80 \times 45 \times 6$ м.м. (фиг. 13)

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

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

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

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

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

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

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

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

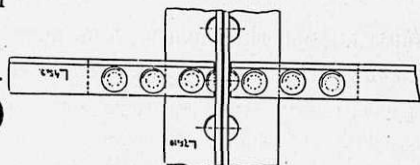
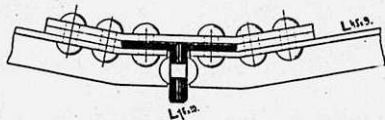
Вѣнчающее кольцо, къ которому приклепаны концы вертикальныхъ и наклонныхъ ногъ каждой фермы, имѣетъ діаметръ

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

Вѣсь 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:

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

с) для цилиндрической части резервуара:

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

д) 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

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

полное давленіе вѣтра равно

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

(*) При расчетъ стропиль шпика Петропавловскаго Собора въ С.-Петербургъ—давленіе вѣтра было принято 50 пудовъ на 1 кв. саж. или 180 килогр. на 1 кв. метръ, что соотвѣтствуетъ урагану, со скоростью вѣтра 130 верстъ въ часъ.

Такъ какъ вѣтеръ давитъ на цилиндрическую поверхность, то

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

(По послѣднимъ изслѣдованіямъ, усиленіе 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:

$$\omega_1. h_1 + \omega_2. h_2 + \omega_3. h_3 + \omega_4. h_4 = \omega. h$$

$$\text{(Здѣсь } \omega_1 = 18,50 \text{ кв. ф.}$$

$$\omega_2 = 256,68 \text{ кв. ф.}$$

$$\omega_3 = 740,00 \text{ кв. ф.}$$

$$\omega_4 = 173,25 \text{ кв. ф.}$$

$$\omega = 1188,43 \text{ кв. ф.}$$

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

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

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

Общій наибольший 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:

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

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

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.,

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

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

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

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

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

что составляетъ на 1 кв. футъ —

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

Не смотря на полную устойчивость всего сооруженія, основное кольцо остова башни прикрѣплено къ фундаменту 40 болтами діам. въ 1½ 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 водонепроницаемая стѣнка ея прочно сопротивлялась въ случаѣ полного затопленія ея водою, при разрывѣ трубы. Для отвода воды изъ камеры проложены въ срединѣ 18 дм. и по бокамъ двѣ 7 дм. трубы въ ближайшей ливнеспускъ канализации. Въ случаѣ неожиданнаго переполненія камеры водою, послѣдняя можетъ выходить черезъ боковыя выходныя отверстія, мѣстность у которыхъ спланирована съ наклономъ отъ башни. При такомъ устройствѣ, во время разрыва трубы и заполнения камеры водою—избѣгается опасность подмыва фундамента со всѣми неприятыми послѣдствіями, и человѣку, котораго можетъ случайно захватить вода въ этой камерѣ, легче спастись, чѣмъ въ камерахъ безъ водоотлива и съ узкими входными люками.

Внутренніе размѣры камеры 104 × 6 × 6 фут.; что соотвѣтствуетъ объему въ 8615 ведеръ, т. е. почти 1/3 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 сделано на тот случай, если большой разрыв одной из труб произойдет снаружи водонепроницаемой камеры и чтобы обильная вода, не накапливаясь на поверхности камеры, скорее уходила через камеру вливнеспускъ.

Въ камерѣ предполагалось помѣстить на особой распределительной 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 городъ; 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 разрѣзѣ (фиг. 12).

Башня имѣетъ громоотводъ, а резервуаръ вентиляціонный 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 конструкции.

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:

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

Полезная емкость принята не менѣе 50000 ведеръ.

Разрывающее усиліе на 1 метръ длины листовъ днища будетъ:

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

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

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

Слѣдовательно наименьшая толщина днища должна быть

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

Принимаемъ $\delta = 7$ м.м.

Толщину вертикальной стѣнки резервуара опредѣляемъ изъ формулы

$$\delta_1 = \frac{(h + h_1) \cdot D}{g \cdot R_0} \cdot \frac{1}{2} + \delta_0 = \frac{8,10 \cdot 5,25}{0,78 \cdot 12} + 1 = 4 \text{ мм.} + 1 \text{ мм.} = 5 \text{ мм.}$$

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 веса воды=660 тонн, веса резервуара 21 тонна, кровли=6 тонн \pm перегрузка от ветра. Величину последней в данном случае находим при условии, что резервуар представляет собою жесткое тело, способное прочно сопротивляться изгибу.

Изгибающий момент сил ветра, действующих на резервуар, относительно плоскости опор, равен:

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

Здесь $f = 2,2$ метра—высота кровли,

$D = 10,5$ метр.—диаметр резервуара,

$P = 180$ килогр. на 1 кв. метр,

$\alpha = 18^\circ$ угол кровли,

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

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

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

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

После подстановки этих величин в уравнение моментов сил ветра—получим

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

Наибольшее давление на кольцо остова башни определяем из формулы

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

где P_{\max} —наибольшее давление на опору резервуара,

I —момент инерции опоры резервуара относительно оси, перпендикулярной направлению ветра и

$r = 5,327$ м.—радиус круга, описанного около этого многоугольника.

Для простоты расчета будем считать, что резервуар опирается не на 32 опоры, а на 16, тогда

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

Здесь ω — площадь опоры.

a — расстояние 2-й опоры от оси \perp направлению ветра,

b — » 3-й » » » » » » » »

c — » 4-й » » » » » » » »

Зная, что сторона данного шестнадцатигульника будет равняться 2,0386 метр., то

$$a = 4,9215 \text{ метр.}$$

$$b = 3,7668 \text{ »}$$

$$c = 2,0385 \text{ »}$$

Следов

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

Момент сопротивления

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

Давление от ветра на одну опору:

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

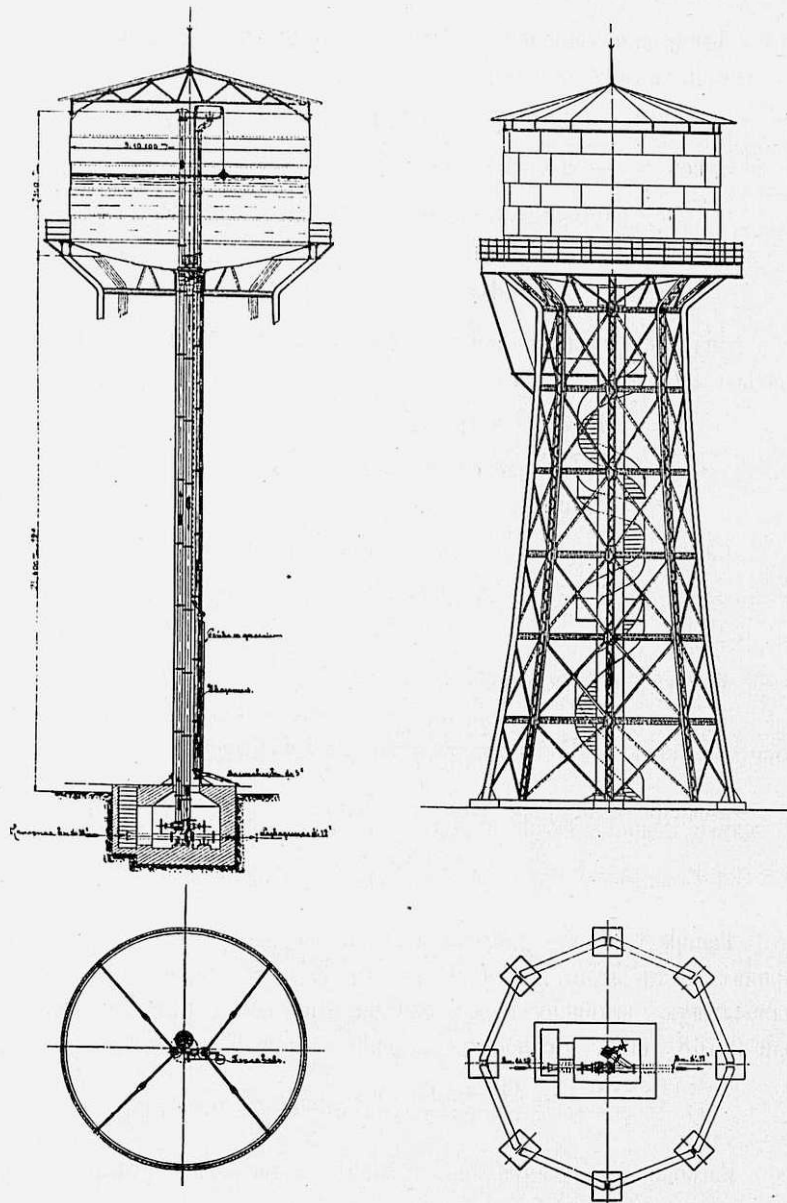
Распределяя это давление на две опорные точки, так как принимали в этом подсчете вместо 32—16 опор, получим наибольшую величину перегрузки на одну опору в 568 килогр. или 0,568 тонн. Полное же давление на опору при ветре

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

Изгибающий момент по средине одного элемента верхнего кольца:

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

Кроме изгиба, в этом элементе кольца появляется *вытягивание*, вследствие наклонного расположения стержней верхнего яру-



Фиг. 16

Въ $\frac{1}{32}$ натур. величины.

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

(По проекту Акціонернаго 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 клепанных балокъ, собранныхъ изъ вертикальныхъ листовъ 350×8 м.м. и 8 уголковъ $90 \times 90 \times 10$ м.м., показанныхъ на разрѣзѣ фиг. 16. Разстояніе между вертикальными листами 25 м.м.

Площадь поперечнаго сѣченія такого кольца

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

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

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

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. меньше 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., Главныя ребра.

□□ 2 коробки № 18 по Н. 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

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

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.

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

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

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

Изгибающій моментъ отъ работы вѣтра, относительно плоскости, проходящей черезъ верхнюю распорку нижняго яруса, находитъ такъ:

Площадь проекціи кровли на плоскость перпендикулярную къ направленію вѣтра

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

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:

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

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

$$W = 25,7 \cdot \omega \cdot \text{метр.}^3$$

Наибольшее давленіе на одно ребро отъ дѣйствія вѣтра:

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

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, $\cos \alpha$ угла наклона ихъ составляетъ около 0,962, такъ что усиліе въ ребрѣ равняется

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

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:

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

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

$$I_{\min} = 12944 \text{ сан.}^4$$

Квадратъ радіуса инерціи сѣченія

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

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \frac{405 \cdot 405}{115,6}} = 0,88$$

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

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

2. Діагонали.

Для опредѣленія усилій въ діагоналяхъ нижняго яруса дѣлаемъ горизонтальное сѣченіе черезъ ярусъ и беремъ моментъ дѣйствующихъ силъ вѣтра относительно осп, 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:

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

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 коэффициента устойчивости сооруженія, то таковыя находимъ слѣдующимъ способомъ.

Наибольшій изгибающій моментъ въ основаніи башни отъ вѣтра равенъ $\infty 555$ тонн.-метр., а моментъ сопротивленія основанія = 30,22. ω . 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 $\infty 17$ тоннъ на каждую опору

$$q = \frac{748}{8} + 18,3 + 17 = 128,17 \text{ тонны.}$$

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. на кв. метр., что составляетъ $\infty 3,6$ кил. на 1 кв. сан. или $\infty 1,4$ 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 соотвѣствующими 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 вариантомъ — уравнительной башней (фиг. 19), сообразно которой впоследствии была разработана предварительная смѣта. (*).

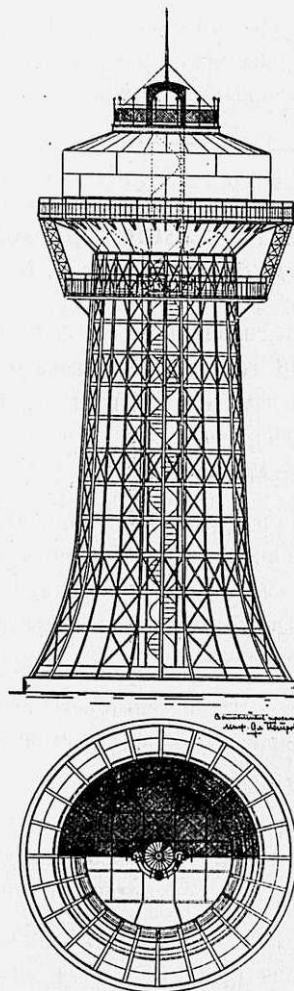
Стоимость башни, съ полнымъ оборудованіемъ, съ огражденіемъ ея мѣста установки желѣзо-бетонной рѣшеткой, съ жилымъ двухъ-этажнымъ каменнымъ домомъ при ней (контрольно-испытательная станція водомѣровъ) по предварительной смѣтѣ была исчислена въ 30 тысячъ руб.

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

Водопроводный вопросъ въ г. Тюмени остался вопросомъ до настоящаго времени; дѣло затормозилось, вслѣдствіе 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 вверху. 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 проектныя соображенія о Тюменскомъ водопроводѣ были мной помѣщены 7 октября 1908 г. въ № 219 „Сибирской Торговой Газеты“.



Фиг. 17.

Въ $\frac{1}{300}$ 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 верхняго, служащаго базой для днища резервуара.

Горизонтальные кольца изъ углового желѣза слѣдующихъ сѣченій:

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.

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

Диагонали, связывающія эти горизонтальные 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 диагонали изъ углового желѣза, а именно:

до 3-го горизонтального 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.

Нижние 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 уголковъ жесткости $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм.

Подобная система остова является настолько жесткой, что, напряженія матеріала во всѣхъ сѣченіяхъ 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 сферического днища, а центръ отверстія вѣстовой трубы на одинъ

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

футъ ниже верхней крышки резервуара, составляет 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

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

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 поясъ > > > > > 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

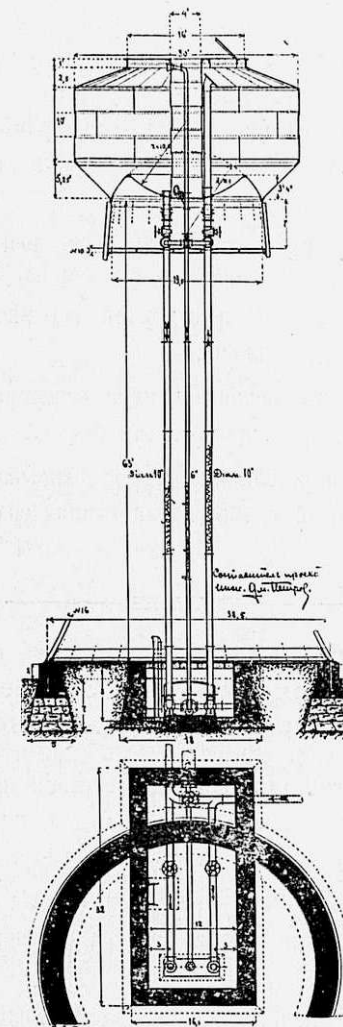
$$\mu = \infty 0,17$$

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, заложенаго 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 $27,5 \times 12 \times 6,5$ фут. Она перекрыта бетоннымъ потолкомъ между двутавровыми балками. Входъ въ камеру черезъ квадратный люкъ и стремянную 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 стремянная лѣстница.



Фиг. 18.

Въ $\frac{1}{275}$ натур. величины.

Разрѣзъ башни и водонепроницаемой фундаментной камеры.

(По проекту ниж. Д. В. Петрова).

Желѣзные 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 сѣть и минуя колонну.

Вѣстовая 6 дм. труба расположена въ центрѣ винтовой лѣстницы; она служить 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 канализацин, 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:*

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot (17,17 + 17,9 + 9,9) = 1642,22 \text{ к. ф.}$$

в) *Цилиндрическая часть резервуара:*

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

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

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

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

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

e) *Нижняя часть нижняго конуса резервуара:*

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

f) *Сферическое днище резервуара:*

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

g) *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 килгр. на кв. сант.

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

$$\delta = \frac{R. h. \Delta}{k. 12} + \delta_1 = \frac{17. \left(\frac{10,5}{2} + 3 - 1\right). 1,728}{300.12} + 0,025 = 0,059 + 0,025 = 0,084 \text{ дм.} = \infty 2 \text{ м.м.}$$

б) Нижній вѣнецъ цилиндрической части резервуара:

$$\delta = \frac{17. (10,5 + 3 - 1). 1,728}{300.12} + 0,025 = 0,128 \text{ дм.} = \infty 3 \text{ м.м.}$$

в) 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:

$$\delta = \frac{R. h. \Delta}{2. k. 12} + \delta_1 = \frac{1}{300.12} 5,25. (3 + 10,5 + 6,75). 1,728 + 0,025 = 0,076 \text{ дм.} = 2 \text{ м.м.}$$

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 гиперболоидъ вращения, поверхность котораго состоитъ изъ 32 наклоненныхъ къ горизонту реберъ или стоекъ, представляющихъ касательныя къ горизонтальнымъ кольцамъ гиперболоида, (фиг. 19). Стойки остова собра-

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

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

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

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

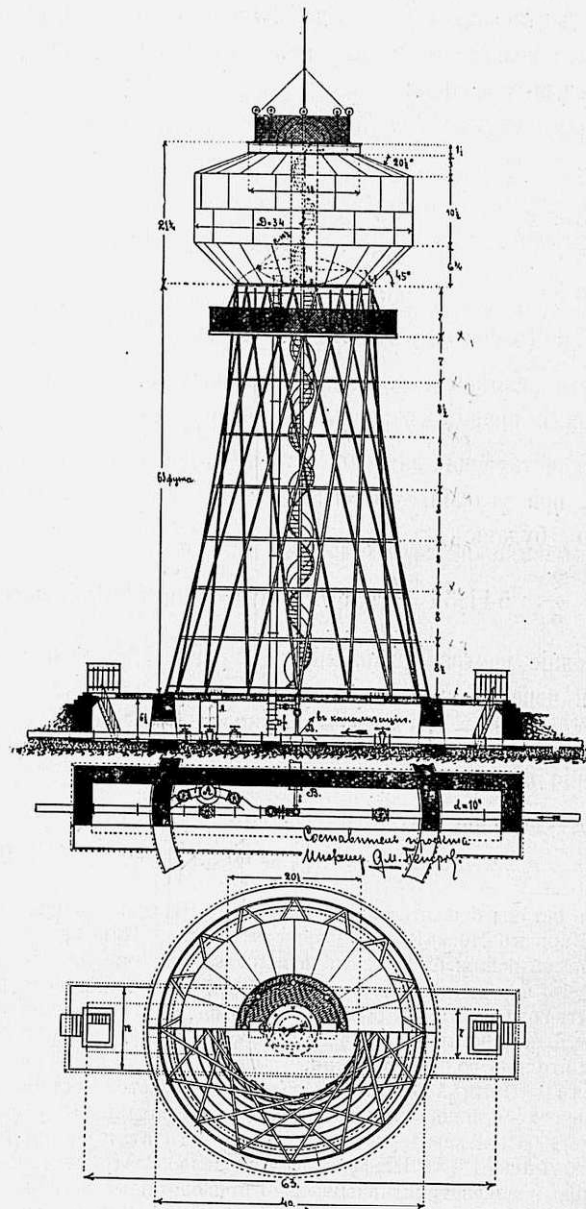
$$h = 10,8 \text{ фута} = 3,3 \text{ метра.}$$

Давленіе вѣтра на остовъ подраздѣляемъ на двѣ группы:

1-я группа—давленіе вѣтра на	100 × 100 × 12 м.м.
2-я > > > >	110 × 110 × 12 м.м.

(*) Всѣ остовы башенъ сист. ниж. В. Г. Шухова собираются заводомъ А. В. Вари 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 дороговизны 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 уравнительная башня съ остоном системы инж. В. Г. Шухова,
и съ резервуаромъ на 33350 ведеръ воды.
(По проекту инж. Д. В. Петрова).

Подъ влияніемъ 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 вѣшнихъ силъ будетъ выражаться формулой:

$$M_{\text{макс.}} = P \cdot l_0 + p \cdot l \cdot \frac{1}{2}$$

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 рассматриваемаго 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 каждого метра высоты остова башни, считая отъ дна резервуара до четвертаго горизонтальнаго кольца, при углахъ стоекъ $100 \times 100 \times 12$ м.м., равна:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

а разстояніе точки приложенія этой силы P_1 до четвертаго сѣченія

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

Слѣдовательно дальнѣйшій подсчетъ моментовъ будетъ таковъ:

$$\text{для 5-го сѣченія: } M_5 = 5910.15,04 + 5356. (4,65 + 2,44) + \\ + \frac{1}{2} \cdot 534.2,44^2 = 128748 \text{ кил.-метр.}$$

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

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

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

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

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

гдѣ ω — площади поперечнаго сѣченія стойки въ разсматриваемомъ сѣченіи,

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

r — радіусу 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:

$$\text{для 1-го сѣченія: } t = \frac{33425}{16.3,04} = 687 \text{ килогр; гдѣ } r = 10 \text{ футъ} = 3,04 \text{ метр.}$$

$$\text{„ 2 „ } t = \frac{49972}{16.3,34} = 935 \text{ „ „ } r = 11 \text{ „ } = 3,34 \text{ „}$$

$$\text{„ 3 „ } t = \frac{73599}{16.3,65} = 1260 \text{ „ „ } r = 12 \text{ „ } = 3,65 \text{ „}$$

$$\text{„ 4 „ } t = \frac{99375}{16.3,95} = 1572 \text{ „ „ } r = 13 \text{ „ } = 3,95 \text{ „}$$

$$\text{„ 5 „ } t = \frac{128748}{16.4,33} = 1860 \text{ „ „ } r = 14,25 \text{ „ } = 4,33 \text{ „}$$

$$\text{„ 6 „ } t = \frac{161898}{16.4,86} = 2082 \text{ „ „ } r = 16 \text{ „ } = 4,86 \text{ „}$$

$$\text{„ 7 „ } t = \frac{198824}{16.5,32} = 2335 \text{ „ „ } r = 17,50 \text{ „ } = 5,32 \text{ „}$$

$$\text{„ 8 „ } t = \frac{241974}{16.6,08} = 2487 \text{ „ „ } r = 20 \text{ „ } = 6,08 \text{ „}$$

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:

$$Q = 12,29.33405 = 410548 \text{ килогр.}$$

Полный вѣсъ резервуара:

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

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

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

Въсь остова башни, площадки, лѣстницы, балкона, павильона (*) и вѣнчающаго горизонтальнаго кольца (базы подъ резервуаръ) можно принять ∞ 26000 килогр., что составляетъ давленіе

$$b_2 = \frac{26000}{32.19,20} = 42,3 \text{ килогр. на каждый уголокъ остова отъ одного метра высоты башни.}$$

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 соответствующія значенія, получимъ общее наибольшее усиліе въ каждомъ изъ разсматриваемыхъ сѣченій. Дѣйствительно:

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

Зная общія наибольшія усилія въ стойкахъ, послѣднія проверимъ 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 $l_{\text{макс.}} = 258 \text{ сан.}$ и $\varphi = 0,63$,

$$K = R \cdot \varphi = 1100 \cdot 0,63 = 693 \text{ килогр. на кв. сант.}$$

Дѣйствительное-же:

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

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:

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \cdot 258 \cdot 258 \cdot \frac{\omega}{I}} = 0,68$$

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

$$I = 280 \text{ сан.}^4$$

Такъ какъ $l_{\text{макс.}} = 258 \text{ сан.}$ —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:

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

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

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, конструкція 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, соответствующей 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.

Въсь 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 типа 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 $6\frac{1}{2}$ футъ. Всѣ трубы башни снабжены сальниковыми компенсаторами у днища резервуара.

Всякое измѣненіе уровня воды въ резервуарѣ, кромѣ ртутнаго указателя въ галереѣ 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 дастъ еще то преимущество, что въ случаѣ порчи механизма контрольнаго водомѣра или въ случаѣ его провѣрки, его можно снять не прекращая движенія воды въ сѣть; 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 шпилья представляетъ собой бронзовый полый цилиндръ съ 3-мя приемными иглами. Весь цилиндръ позолоченъ, а конецъ его большой иглы покрытъ платиновой шляпкой для защиты острія отъ химическаго дѣйствія и плавленія. Къ громоотводному шпилью наконечникъ приемника надѣвается нижнимъ полымъ концомъ и зажимается двумя винтами. Шпиль—пустотѣлый, мѣдный съ сѣченіемъ въ 75 кв. м.м. Нижний конецъ шпилья и три мѣдныхъ ванта 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 развѣданія ржавчиной. (*)

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

Пространство, находящееся подъ защитой этого громоотвода, опредѣляется обыкновенно, какъ конусъ, вершина котораго совпадаетъ съ остріемъ иглы приемнаго 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 загрузочной.

(*) 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 электрич. устройствъ сильныхъ токовъ“. Изд. 2-е 1908 г. стр. 184).

(**) Findeisen—пространство, находящееся подъ защитой громоотвода опредѣляетъ, 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 уравнивательная башня Херсонскаго водопровода.
(По проекту инж. А. Н. Лормана).

Желѣзная уравнильная 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 человекъ, 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 уравнильной 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 Сузинѣ.

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 трапециодальный 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.

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

Вод. жел. башни.

- 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 полосы $6 \times \frac{3}{8}$ дм.

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

Между горизонтальными кольцами устои 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 каждые $1\frac{1}{2}$ арш. горизонтальными кольцами изъ уголковъ того-же размѣра. Колонна эта имѣетъ діаметръ около $1\frac{1}{2}$ арш. Уголки колонны и устои остова башни въ нѣсколькихъ мѣстахъ соединены горизонтальными тягами изъ круглаго желѣза. Въ верхней части уголки колонны и устои 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 насланъ полъ балкона.

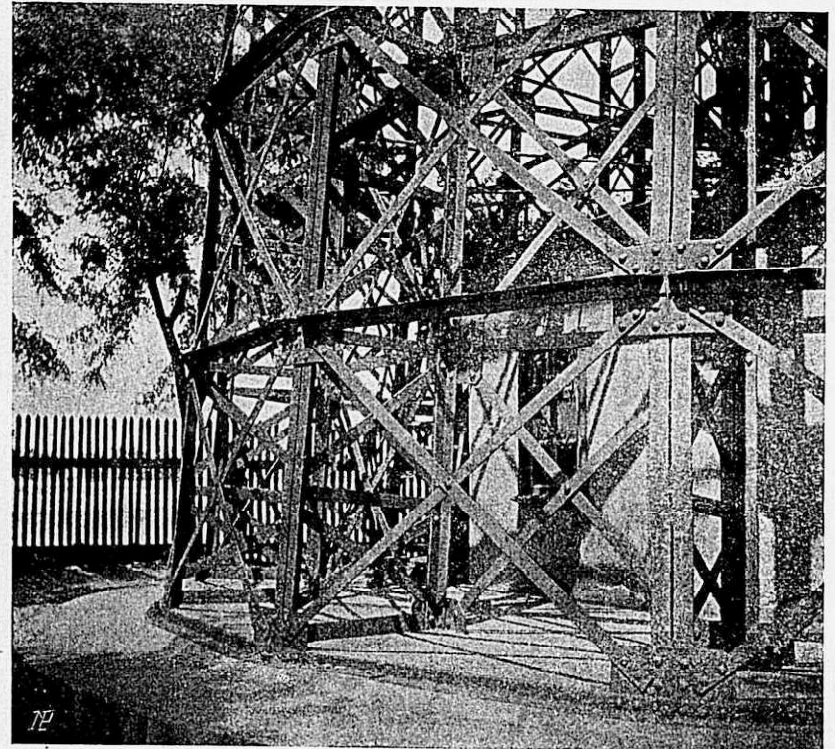
Резервуаръ съ плоскимъ дномъ, діаметра 29 футъ и высоты 28 футъ Толщина стѣнокъ его:

- 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 нижняго листа резервуара съ днищемъ 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 типа и отвѣсной 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 устоа 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 павильона, оштукатуреннаго внутри по войлоку и изоляціи трубы на всемъ протяженіи высоты башни.

Сообщеніе балкона павильона башни съ землей совершается при помощи винтовой чугунной лѣстницы, укрѣпленной къ уголкамъ 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 силовой, 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. не много 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 колодцевъ съ подземными водосборными галереями и буровыми 4 дм. скважинами, принадлежит 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 колодцевъ № 2, 3, 3-bis и старого городского колодца (*) достигла почти 60 миллионѣвъ ведеръ воды въ годъ, при наибольшемъ ея суточномъ разборѣ въ 250 тысячъ и наименьшемъ въ 64 тысячи ведеръ, обслуживая 100-тысячное населеніе города 70-верстной разводящей сѣтью чугунныхъ трубъ, діам. отъ 3 до 12 дм.

Вода изъ колодцевъ 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). (**)

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

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

(**) Влѣдствіе тождественности сборки гиперболоидальныхъ башенъ сист. инж. 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 представляет собою гиперболоидъ вращения, сѣтчатая поверхность котораго собрана изъ 48 стоекъ изъ углового желѣза, профили $5 \times 5 \times 0,5$ дм. внизу и $4,5 \times 4,5 \times 0,5$ дм. вверху, установленныхъ наклонно, взаимно пересѣкаясь, по образующимъ гиперболоида. Для большей прочности всѣ стойки перерезаны девятью горизонтальными кольцами, тоже изъ углового желѣза. Въ мѣстахъ взаимнаго пересѣченія, всѣ 48 уголковъ и 9 поперечныхъ колецъ скленаны между собою. Такимъ образомъ склепанная сѣтчатая поверхность гиперболоидальнаго остова башни представляет собою одну общую жесткую систему, прочно сопротивляющуюся силамъ, какъ отъ наибольшаго давленія вѣтра, такъ и отъ полной нагрузки наполненнаго водой резервуара.

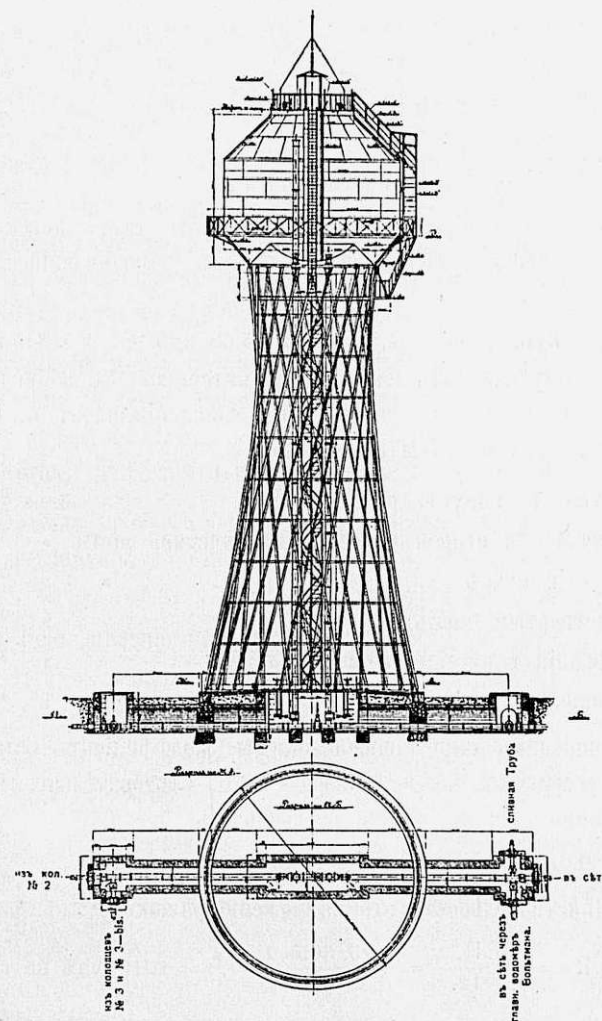
Остовъ башни, заканчивающійся внизу фундаментнымъ кольцомъ діаметра 42 фута, а вверху кольцомъ,—для установки резервуара, діаметра въ 23 фута, покоится на прочномъ кольцевомъ каменномъ фундаментѣ. Высота остова башни, отъ линіи обрѣза фундамента до глубокой точки резервуара—84 фута.

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.

Соединеніе 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 усѣченного 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 усѣченного 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.

Желѣзная водонапорная башня Николаевского городского водопровода съ гиперболоидальнымъ 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 отверстіе 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 пуд 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	$> \frac{3}{16} >$
в) третій поясъ	$> \frac{7}{32} >$
г) четвертый поясъ	$> \frac{9}{32} >$
е) нижній конусъ резервуара	$> \frac{3}{8} >$
ф) шаровое днище	$> \frac{1}{4} >$

Въ шаровомъ днищѣ швы одинарные, коэффициентъ ослабленія листовъ отверстіями 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:

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

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

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

1. Расчетъ башни.

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

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

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

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

Площадь проекціи боковой поверхности четырехъ отдѣльныхъ 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 каждого 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

$$\begin{aligned} x &= 9,3 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot (15 + 9,3) + \frac{18,9 \cdot 3,9,3}{2} = \\ & & &= 14387 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 9,3 + 7,9 = 17,2 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot (24,3 + 7,9) + 9 \cdot 17,2 \cdot 17,2 = \\ & & &= 20695 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 17,2 + 8,2 = 25,4 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 40,4 + 9 \cdot 25,4 \cdot 25,4 = \\ & & &= 28430 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 25,4 + 8,2 = 33,6 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 48,6 + 9 \cdot 33,6 \cdot 33,6 = \\ & & &= 37377 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 33,6 + 8,2 = 41,8 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 56,8 + 9 \cdot 41,8 \cdot 41,8 = \\ & & &= 47533 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 41,8 + 8,2 = 50 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 65 + 18 \cdot 41,8 \cdot \left(\frac{41,8}{2} + 8,2 \right) + \\ & & &+ 20 \cdot \frac{8,2 \cdot 8,2}{2} = 58967 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 50 + 8,2 = 58,2 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 73,2 + 752,4 \cdot (20,9 + 16,4) + \\ & & &+ 10 \cdot 16,4 \cdot 16,4 = 71746 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 58,2 + 8,2 = 66,4 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 81,4 + 752,4 \cdot 45,5 + \\ & & &+ 10 \cdot 24,6 \cdot 24,6 = 85870 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 66,4 + 8,2 = 74,6 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 89,6 + 752,4 \cdot 53,7 + \\ & & &+ 10 \cdot 32,8 \cdot 32,8 = 101338 \text{ пудо-фут.} \\ \text{„} &= 74,6 + 9,4 = 84 \text{ ф.} & M &= 560 \cdot 99 + 752,4 \cdot 63,1 + \\ & & &+ 10 \cdot 42,2 \cdot 42,2 = 120725 \text{ пудо-фут.} \end{aligned}$$

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

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

равно:

$$\begin{aligned} \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 9,3 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{14387}{24,11,5} = 53 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 11,5 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 17,2 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{20695}{24,11} = 80 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 11 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 25,4 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{28430}{24,11,25} = 105 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 11,25 \text{ ф.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 33,6 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{37377}{24,11,9} = 130 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 11,9 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 41,8 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{47533}{24,12,8} = 155 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 12,8 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 50 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{58967}{24,14,1} = 175 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 14,1 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 58,2 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{71746}{24,15,6} = 197 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 15,6 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 66,4 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{85870}{24,16,85} = 212 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 16,85 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 74,6 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{101338}{24,19} = 223 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга, по которому расположены уголки, равный } 19 \text{ ф.} \\ \text{Для сѣченія на разстояніи: } x &= 84 \text{ ф. } t = \omega \cdot R = \frac{120725}{24,21} = 240 \text{ пуд.;} \\ \text{гдѣ } r &\text{ радиусъ круга по которому расположены уголки, равный } 21 \text{ ф.} \end{aligned}$$

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

$$q = \frac{0,750 \cdot 51349 + 2500 (*)}{48} = \infty 855 \text{ пудовъ.}$$

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 сжатія уголка остова, для cadaго разсматриваемаго сѣченія башни, равно:

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

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

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

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

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 напряжение поперечнаго сѣченія уголка будетъ значительно менѣе опредѣленного.

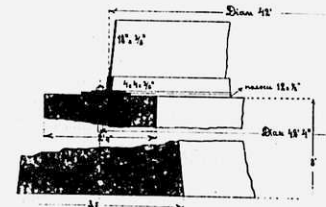
Въ прилагаемой здѣсь таблицѣ указаны для каждого сѣченія остова башни какъ величины коэффициентовъ φ , такъ и допускаемыя и дѣйствительныя напряженія.

Таблица допускаемыхъ и дѣйствительныхъ напряженій въ уголкахъ остова башни.

№ сѣченія	Коэфф. μ	l въ дюйм.	Площадь поперечнаго сѣченія уголка: ω въ кв. дм.	Моментъ инерціи сѣченія I	Коэф. φ	Допускаемое напряженіе въ пуд. на кв. дм. $R \cdot \varphi$	Дѣйствительное напряженіе въ пуд. на кв. дм. $Q : \omega$	Запасъ напряженія въ стойкахъ, 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 усилій 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 водо 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 выдерживать 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 усилю 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).

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

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

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:

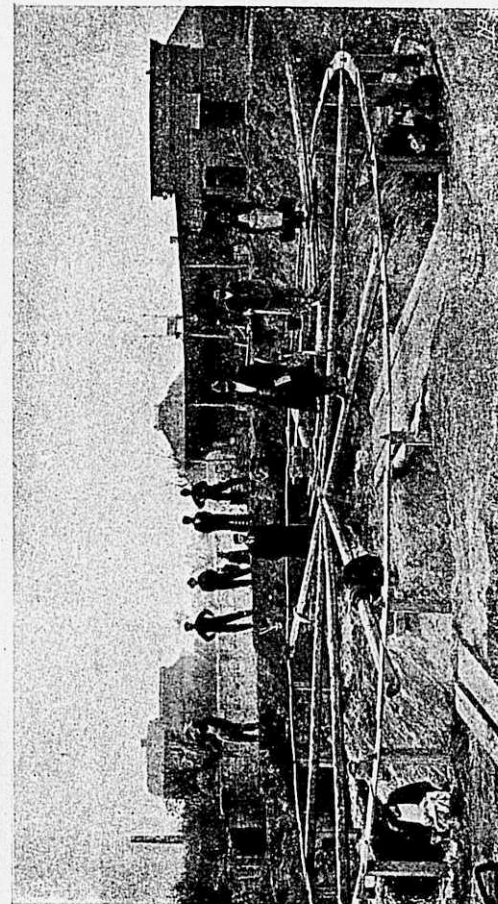
1) Въ дубовомъ, составленномъ изъ трехъ осмоленныхъ дисковъ, поплавокъ съ цѣпью, передаточными роликами и желѣзнымъ уравнивающимъ поплавкомъ грузомъ, передвигающимся, по мѣрѣ измѣненія уровня воды въ резервуарѣ, по вертикально-установленной измѣрительной шкалѣ.

2) Въ пневматическомъ гидрометрѣ, состоящемъ изъ открытаго снизу сосуда (колокола), установленного 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 поды колоколомъ, что и указывается манометромъ, шкала котораго градуирована соответствующимъ образомъ, позволяющимъ прочесть, какъ высоко стоитъ вода въ резервуарѣ башни. (*)

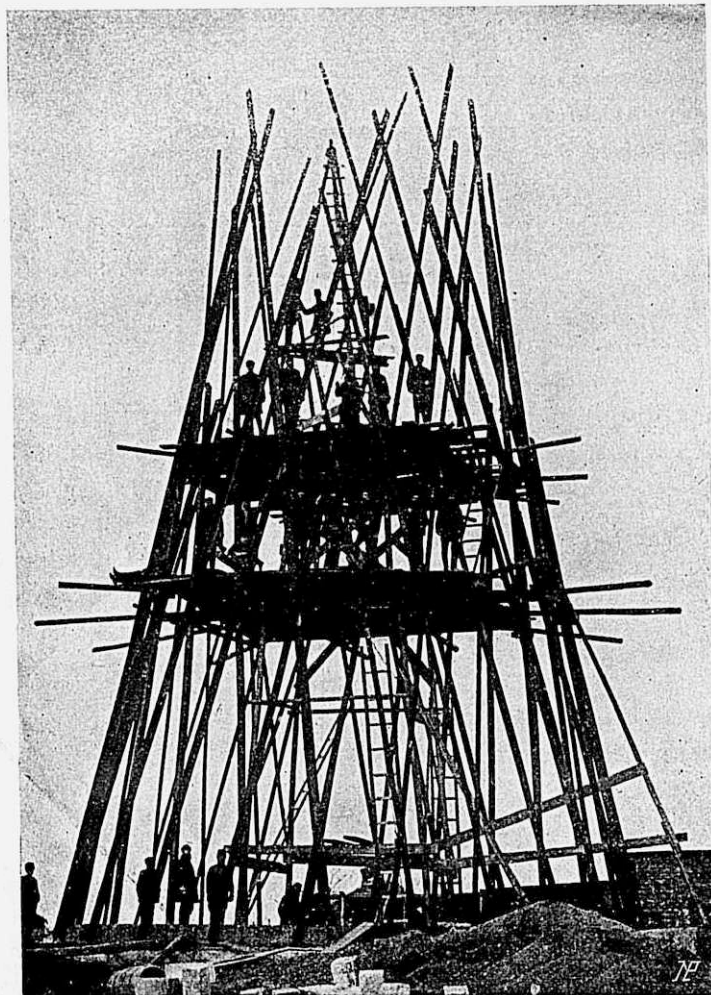
3) Въ контрольномъ манометрѣ, установленномъ въ сторожевомъ домѣ башни.

4) Въ электрическомъ сигнализаторѣ измѣненій уровня воды въ резервуарѣ патента «Л. М. Эриксонъ 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 фундаментнаго кольца водонапорной башни Николаевского городского водопровода.
1906 г.



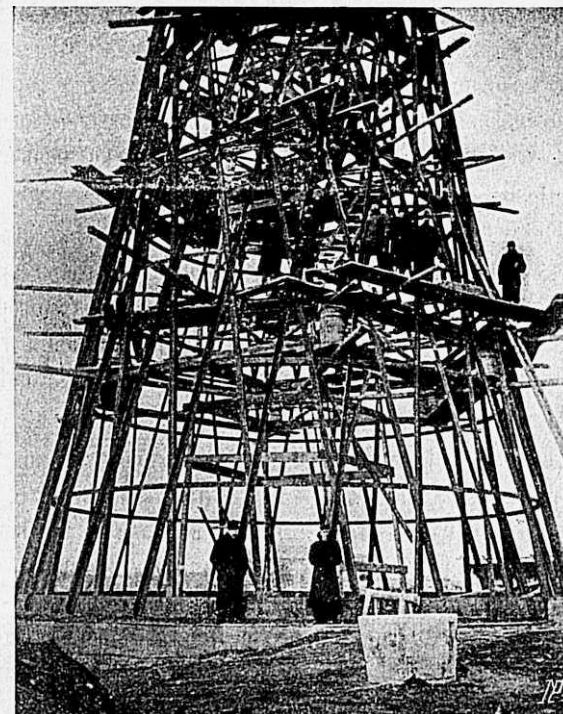
Фиг. 25.

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 колецъ башни Николаевского водопровода.

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

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

Вод. жел. башни.

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 вращения 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 уравнивателя.

Объ 12 дм. трубы, при входѣ въ дно (*) резервуара башни, снабжены компенсационными сальниками, установка которыхъ была вызвана большою деформацией 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 изоляционнымъ 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, подъ 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 нерационально, ибо въ этомъ случаѣ сферическое днище резервуара нагружается въсомъ трубъ.

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

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

гдѣ: k —прочное напряженіе матеріала—875 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° Ц., а температуру остова башни лѣтомъ допускаемъ + 45° Ц., то разность температуръ трубъ и остова + 34° Ц. и линейное расширеніе ногъ остова

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

Полная деформация башни лѣтомъ отъ нагрѣванія 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

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

Полная деформация 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 компенсационныхъ сальниковъ означенная игра отражалась-бы на стыкахъ вертикальныхъ трубъ и вызвала-бы течь воды.

3. Электрической 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 постоянного наблюденія на станціи за измѣненіями уровня воды въ резервуарѣ водонапорной башни, что возможно было, для регулированія работы тѣхъ и другихъ агрегатовъ, достигнуть

автоматической сигнализацией, соединяющей башню съ распределительной доской станции.

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 электрической 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 специального 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 высшемъ и низшемъ уровняхъ; при совпаденіи подвижной стрѣлки съ одной изъ неподвижныхъ — подается звонокъ сигналъ.

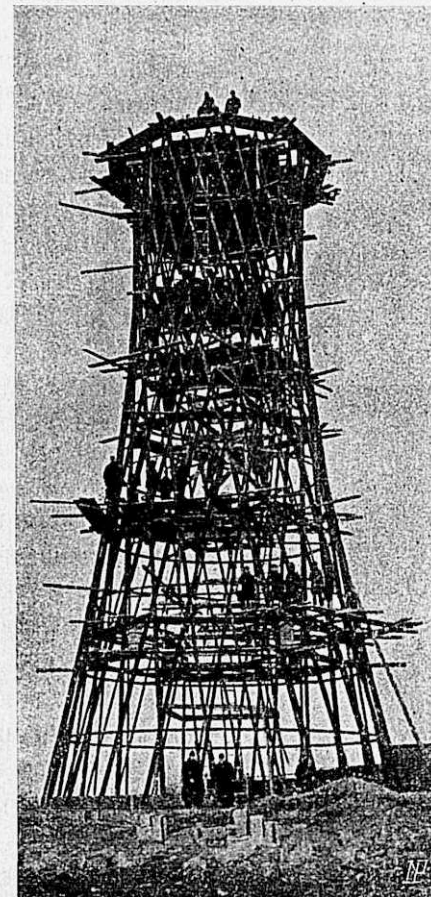
При указателѣ уровня воды имѣется регистрирующій приборъ, который на бумажномъ кружкѣ, ежесуточно смѣняемомъ, показываетъ графически положеніе уровня воды въ каждый моментъ. (*).

(*) Подобная электрическая сигнализация 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.

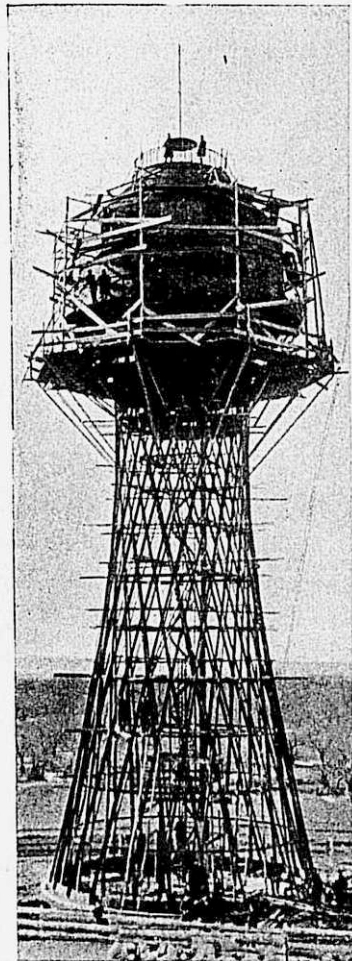
Въ Полтавѣ-же, не считая монтажа и столбовъ для воздушной линіи въ 350 саж., но съ алюминиевыми проводами, изоляторами и всѣми принадлежностями линіи—подобная сигнализация обошлась въ 690 руб.



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 послѣдней, тогда образовавшійся такимъ образомъ южный узелъ трубъ со сво-



Фиг. 28.

Окончание работ по установкѣ и сборкѣ резервуара сист. Инце, емкостью въ 50 тысячъ ведеръ, на остоѣ башни Николаевского городского водопровода. 1907 г.

ими задвижками потребовалъ устройства большого ревизионнаго сухого колодца. Точно такого-же колодца и на такомъ-же разстояніи отъ центра разводящей трубы потребовалъ и другой, прямо—противоположный первому, сѣверный узелъ трубъ, въ которомъ 12 дм. разводящая труба башни развѣтвляется на двѣ 10 дм. трубы, питающихъ въ разныхъ пунктахъ 10 дм. кольцевую магистраль сѣти 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 сѣти, черезъ пять мѣсяцевъ послѣ открытія башни, вмѣсто отдѣльныхъ сухихъ колодцевъ, была сооружена изъ мѣстнаго известняковаго камня-шестиката ($6 \times 6 \times 12$ верш.) одна общая водонепроницаемая фундаментная галлерей, перекрытая бетоннымъ потолкомъ между желѣзными балками.

Какъ ея размѣры, такъ и расположеніе трубъ и задвижекъ

показаны на прилагаемомъ чертежѣ (фиг. 29.).

Галлерей, какъ и резервуаръ башни—освѣщается электричествомъ.

Эта водонепроницаемая галлерей, какъ показала практика, имѣла огромное значеніе для прочности самой башни.

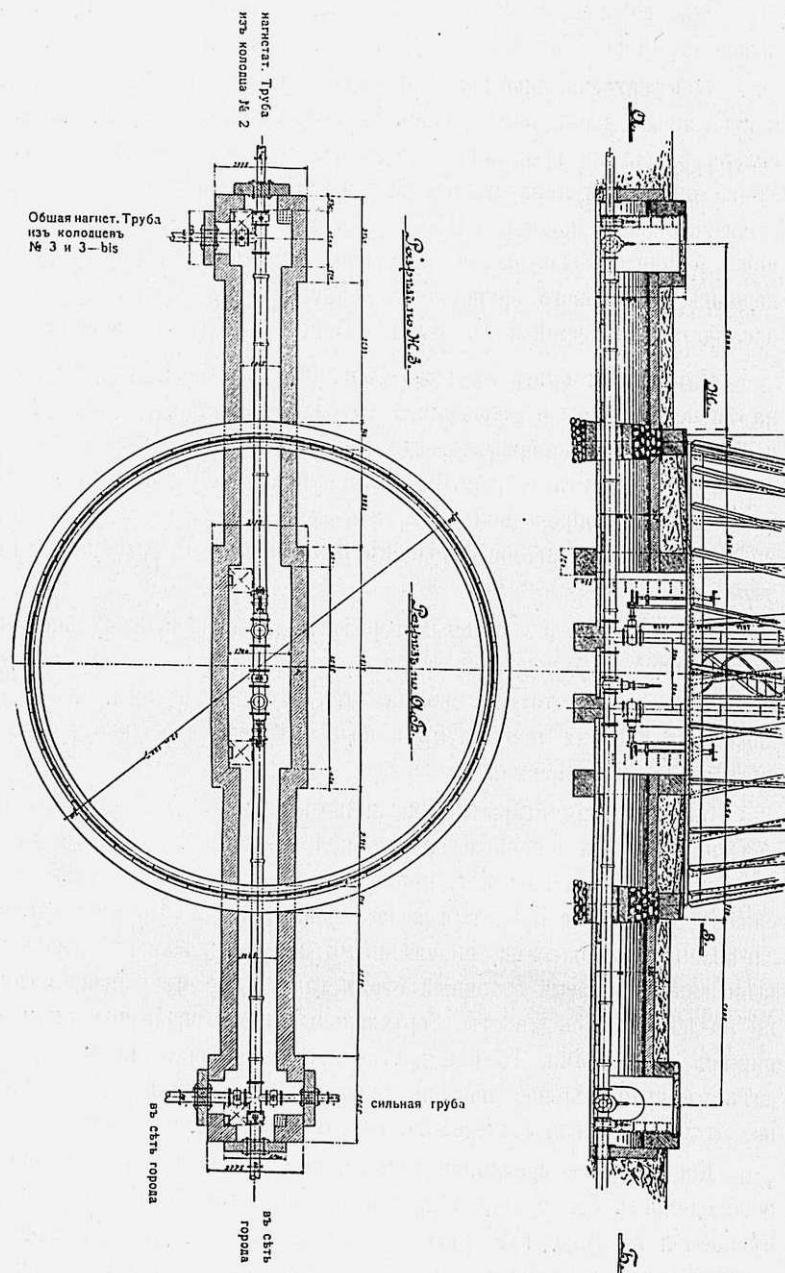
Дѣйствительно, во время перваго года эксплуатаціи только что построенной башни наблюдалась ея естественная осадка, которая сильно вліяла на проходящія подъ ней распредѣлительныя трубы: стыки ихъ разстраивались и давали значительную течь. При отсутствіи водонепроницаемой галлерей—эта течь трубъ у подошвы 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 неизбежны.

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 затопитъ 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, находящіяся 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 соответствующія 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 Майнеке, калибра въ 200 м.м.



Водомѣръ былъ включенъ за башней на одномъ отвлѣтленіи (*) разводящей 10 дм. трубы, между переходными чугунными патрубками такимъ образомъ:

труба 10 дм. + патрубокъ 10×8 дм. + водомѣръ + патрубокъ 8×10 дм. + труба 10 дм.

Вся эта система помѣщена въ сухомъ колодезѣ ($0,80 \times 0,80 \times 1$ саж.),

устроенномъ около водонепроницаемой галлерей, (на фиг. 29 -- этотъ колодезь 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 соответствуетъ 2129,74 ведр. или 1 м.м. — 7 ведр. (**).

Въ свою очередь этотъ водомѣръ башни, регистрирующій общий расходъ воды, поступающій въ сѣтъ города, вмѣстѣ съ контрольными вольтъ-амперъ-метрами электрическихъ насосовъ колодезь позволяетъ опредѣлять въ каждый моментъ ихъ коэффициенты полезнаго дѣйствія и, слѣдовательно, производительность.

Такъ какъ при водомѣрѣ нѣтъ 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 ответственного пункта расположенія водопроводной башни, гдѣ закрытіемъ соответствующей 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 соответствующей задвижкой.

(На фиг. 29-й вмѣсто „сильная труба“ надо читать „сливная“ труба).

(**) Для болѣе точности, во время испытанія водомѣра при подобныхъ установкахъ, паденіе уровня воды необходимо измѣрять непосредственно въ резервуарѣ, но строго вертикальной рейкѣ, такъ какъ при незначительныхъ паденіяхъ уровня воды — поплавки измѣрительныхъ приборовъ обыкновенно опускаются съ водой недостаточно равномерно и одновременно.

или даже умышленных несчастных случаев во время посещения балконов башни посторонними лицами—все место около башни, площадью в 450 кв. саж., окружено каменной оградой, частью с железной решеткой, с железными воротами и калиткой.

Двор засажен растительностью. Освещается электричеством.

Благодаря элементарным соображениям гигиены, которая не рекомендует, во избежание заноса заразы, устраивать при резервуарах с запасом питьевой воды жилых помещений,—небольшой дом для сторожа построен совершенно отдельно от башни

6. Постройка башни.

В конце июля 1906 года собрание Николаевской городской Думы утвердило подряд на сооружение железной башни системы инж. В. Г. Шухова за Московским заводом А. В. Бари, с которым был заключен договор 1 Августа 1906 г. Завод инж. А. В. Бари принял на себя обязательство построить башню в пяти-месячный срок, при техническом надзоре инженеров города, за свой счет и риск, из своих материалов и своими рабочими.

После окончательной приемки законченной сооружением башни, на владельца завода оставалась ответственность за прочность сооружения в течение двух лет и если за это время будут обнаружены какие-либо недостатки в качестве материала и в работах по сборке башни, не исключая и фундамента, то завод обязывался устранить их, после соответствующего извещения, в назначенный городом срок. В противном случае город должен был бы производить исправления за счет завода. В обеспечение исправного выполнения работ, заводом был внесен Городскому Общественному Управлению соответствующий денежный залог.

На месте закладки каменного фундамента башни были сделаны городом исследования почвы, посредством бурения развѣдочных скважин, которые обнаружили слой хорошего сухого песка мощностью до 5 саж. и с 5 до 7,23 саж.—слой разной глины с песком, т. е. основание вполне надежное для всякого тяжелого сооружения.



Фиг. 30.

Железная водонапорная башня Николаевского Городского Водопровода с гиперболическим остовом сист. инж. В. Г. Шухова и резервуаром Инце—на 50 тыс. вед. воды.

(Построена Московским заводом инж. А. В. Бари, 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, по 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 склепка 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. трубъ, была совершенно закончена и послѣ произведеннаго испытанія на плотность швовъ резервуара принята городомъ и включена въ общую сѣть дѣйствовавшаго водопровода.

Устройство фундаментной водонепроницаемой галлерей башни, установка электрическаго сигнализатора съ устройствомъ линіи

(*) 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 оборудования 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 отопленія и даже отепленія резервуара, при помощи навильона или другой какой-либо рубашки, такъ какъ вслѣдствіе естественной циркуляціи охлаждающіяся частицы воды изъ резервуара уходятъ первыми въ разводящую трубу сѣти. Кромѣ 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, по 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 4½ года своей постоянной эксплуатаціи, при значительномъ колебаніи нагрузки, не требовала расхода на ремонтъ, кромѣ обычной промывки резервуара и окраски.

Что касается конструктивныхъ 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 эксплуатаціи 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 средняго 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. ноч.

(*) См. отчетъ по эксплуатаціи 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. начинающаяся с 6 ч. утра до 7 ч. вечера, больше среднего часового разбора a_m , который равен

$$a_m = \frac{Q}{24} = \frac{165000}{24} = 6875 \text{ вед. или } 4,16\% \text{ суточного разбора.}$$

Нормальная формула расчета резервуара водонапорной башни, в зависимости от суточного потребления воды, имеет вид:

$$V \geq [11 \cdot a_m - (a_1 + a_2 + \dots + a_5 + a_6 + a_{20} + a_{21} + \dots + a_{24})] \cdot \frac{Q}{100} + m \cdot b \cdot q.$$

Здѣсь m — число открытых пожарных гидрантовъ,

b — количество часов непрерывной работы гидран-

товъ, и q — среднее количество воды, подаваемое в часть через каждый пожарный гидрантъ.

Число открытых пожарных 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 одновременно открытых гидрантовъ обыкновенно не превышаетъ четырехъ, что и принимаемъ для нашего подсчета.

Среднее количество воды, подаваемое каждымъ 3 дм. гидрантомъ в часть—можно допустить равнымъ 1290 ведр. в часть (*).

Подставляя эти данныя в основную формулу, находимъ, что полезный объемъ резервуара башни долженъ быть в 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 расчета видно, что теперь, на шестомъ году эксплуатации водопровода, водонапорная башня, в смыслѣ вмѣстимости своего резервуара, при существующемъ способѣ подачи воды в него—удовлетворяетъ своему назначенію.

(*) Николаевскій водопроводъ, какъ имѣющій 3 дм. магистраль сѣти, не является водопроводомъ строго—противопожарнымъ и указанное количество воды, подаваемое каждымъ гидрантомъ в часть, при разсматриваемыхъ условіяхъ, можно считать достаточно близкимъ къ истинѣ.

При открытіи-же канализаціи, хотя-бы в одной главной части города (*) расходъ воды изъ сѣти в первый-же годъ значительно увеличится и городу придется обосновать непрерывность водоснабженія на способѣ питанія сѣти с двухъ концовъ, при помощи уравнилельной контръ-башни с резервуаромъ емкостью не менѣе 35 тысячъ ведеръ воды и с наивысшимъ уровнемъ воды в немъ нѣсколько ниже такого в водонапорной башнѣ.

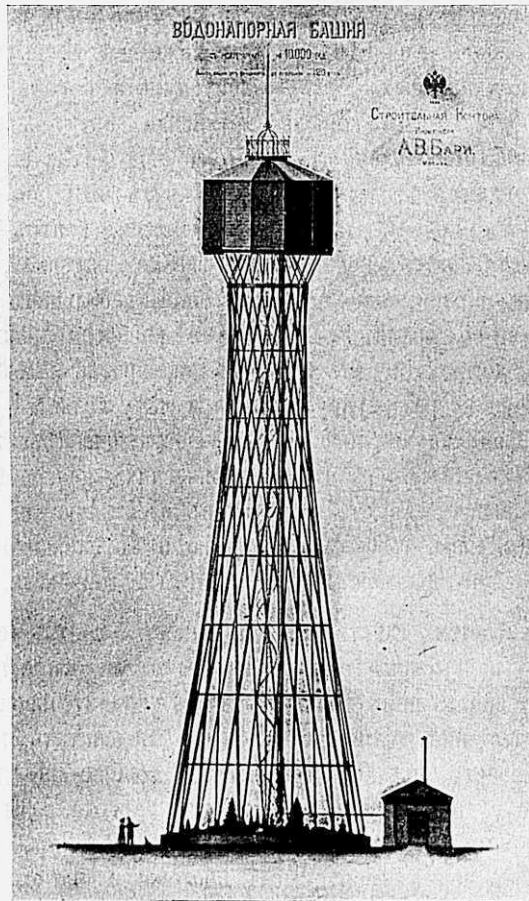
Принимая во вниманіе, что в настоящее время, при среднемъ часовомъ разборѣ воды изъ сѣти только в 8—10 тысячъ ведеръ, манометрическое давленіе в магистралахъ, на возвышенныхъ мѣстностяхъ и удаленныхъ отъ башни пунктахъ сѣти, падаетъ до 1,5 атмосферъ, то даже теперь установка контръ-башни является своевременной. Необходимость в 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, наполнясь в часы небольшого разбора воды изъ сѣти, во время усиленнаго ея разбора обращается самъ в 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 в зависимости отъ агрегатовъ электрической станціи, посылающей къ нимъ требуемую энергію и в зависимости отъ часовъ наибольшаго разбора воды изъ сѣти водопровода.

Что касается дѣйствительной емкости контръ-резервуара и превышенія наивысшаго горизонта воды в водонапорномъ резервуарѣ надъ наивысшимъ горизонтомъ в уравнилельномъ, то такъ-выя с достаточной точностью возможно подсчитать, принимая в основаніе расчета изъ экономическихъ соображеній непремѣнное условіе, что суточные балансы притока и расхода воды в контръ-резервуарѣ были-бы равны между собою. Недостатокъ притока нарушилъ-бы в корнѣ весь смыслъ системы, избытокъ-же притока воды былъ-бы не экономиченъ.

(*) Канализація в г. Николаевѣ будетъ открыта для дѣйствія в двухъ главныхъ частяхъ города не ранѣе 1915—16 гг.

Желѣзная уравнительная башня Коломенскаго городского водопровода съ резервуаромъ на 10 тыс. ведеръ воды.

Водоснабженіе 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.

Эксплоатація 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.

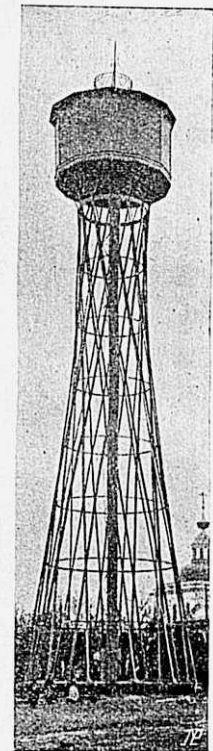
Желѣзный резервуаръ башни съ плоскимъ дномъ; высота его 16 ф., а діам. 20 футъ,—что соотвѣтствуетъ полезной емкости въ 10 тысячъ ведеръ.—Резервуаръ установленъ въ деревянномъ павильонѣ, наибольшая ширина котораго 26,5 фут., высота до кровли—16 фут., высота кровли 5 футъ.

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 башни Коломенскаго городского водопровода.

Вод. жел. башни.



Фиг. 32.

Желѣзная уравнительная башня Коломенскаго городского водопровода.

(По проекту инж. В. Г. Шухова.)

Желѣзная уравнильная 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. Расстояніе между кольцами 7 футъ, за исключеніемъ такового между 7-мъ и 8-мъ кольцомъ, гдѣ оно равно 4,5 фут. Расстояніе же между 8-мъ кольцомъ и уголкою жесткости нижней цилиндрической части резервуара 2,5 ф. Такимъ образомъ высота башни, считая отъ покоя 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 закрѣвлено 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 ≈ 10000 ведеръ.

Первоначально предполагалось резервуаръ башни закрыть обыкновеннымъ деревяннымъ навѣсомъ, въ дѣйствительности-же, какъ указано на фиг. 33, резервуаръ закрыть пробковой изоляціей, толщиной въ 4 сант., уложенной непосредственно на его желѣзныя стѣнки. Наружная поверхность пробковыхъ плитъ оштукатурена 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. Шухова).

Крыша резервуара изъ кровельного 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 коэффициентъ легкости

$$\mu = \frac{1100}{0,75 \cdot 10000} = 0,146$$

Стоимость башни—5000 руб., что составляетъ среднюю стоимость саж.-ведра

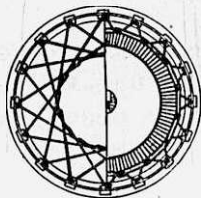
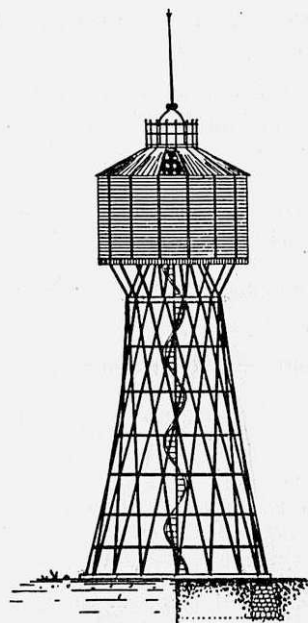
$$m = \frac{P}{h \cdot V} = \frac{5000}{8 \cdot 10000} = 0,0625 \text{ рб. или } 4 \text{ р. } 54 \text{ к. съ пуда.}$$

Желѣзная уравнительная башня на заводѣ Торгово-Промышленнаго Товарищества „П. И. Оловянишникова С-я“ въ Ярославлѣ, съ резервуаромъ на 10 тыс. ведеръ воды.

Желѣзная башня заводского 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-
ль.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

Резервуаръ, какъ это видно изъ
фиг. 34-й, помѣщается въ деревян-
номъ павильонѣ 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
павильона резервуара.

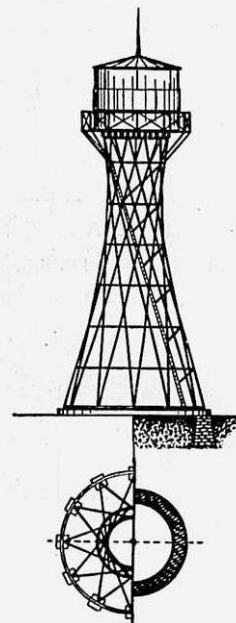
Желѣзная напорная башня на заводѣ Уральско- Волжскаго Металлургическаго Общества въ Ца- рицынѣ на Волгѣ съ резервуаромъ на 3000 пуд. нефт. остатковъ.

Для надобностей завода Уральско-Волжскаго Металлургиче-
скаго 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 фунда-
мента до плоскости расположенія балокъ
подъ плоское днище резервуара, 50 фу-
товъ. Гиперболоидъ собранъ изъ 24 угол-
ковъ 3.3. $\frac{1}{4}$ дм., перевязанныхъ шестью
горизонтальными кольцами, не считая ни-
жняго опорнаго и верхняго для балокъ
резервуара. Диаметръ опорнаго фундамен-
тнаго кольца 25 ф. $3\frac{1}{2}$ дм., верхняго—
12 ф. $3\frac{1}{2}$ дм. Самое малое горизонталь-
ное кольцо, третье сверху, имѣетъ діа-
метр 10 фут.

Вертикальное разстояніе между фун-
даментнымъ 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 ре-
зервуаромъ на 3 тыся-
чи пуд. нефт. остатк.
на заводѣ Уральско-
Волжскаго Металлур-
гич. 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 ке-
росина 0,82.

Резервуаръ окруженъ балкономъ, діаметра 19,5 фут, который поддерживается кронштейнами, укрѣпленными къ одному изъ горизонтальныхъ колецъ гиперболоида. Соединеніе балкона съ землей—при помощи обыкновенной наклонной лѣстницы.

Глубина заложенія 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:

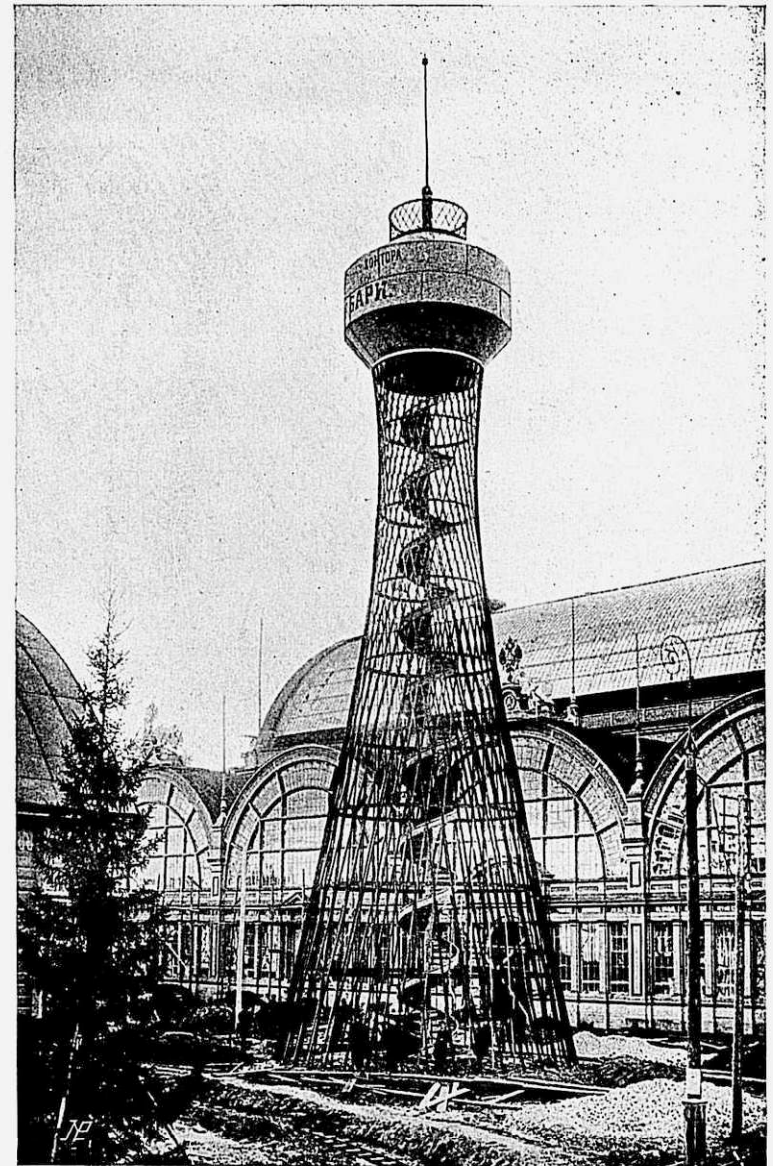
Для башни въ гор. Николаевѣ	1,83
» » въ имѣніи „Сторожево“ (Рязан. губ.)	2,60
» » въ гор. Коломиѣ » »	2,45
» » на заводѣ Гивартовскаго въ Москвѣ	1,66
» » » Оловянишникова въ Ярославлѣ	1,93
» » » Металлургич. О-ва въ Царицынѣ	2,05
» » на трубочн. зав. около г. Самары	2,56

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.

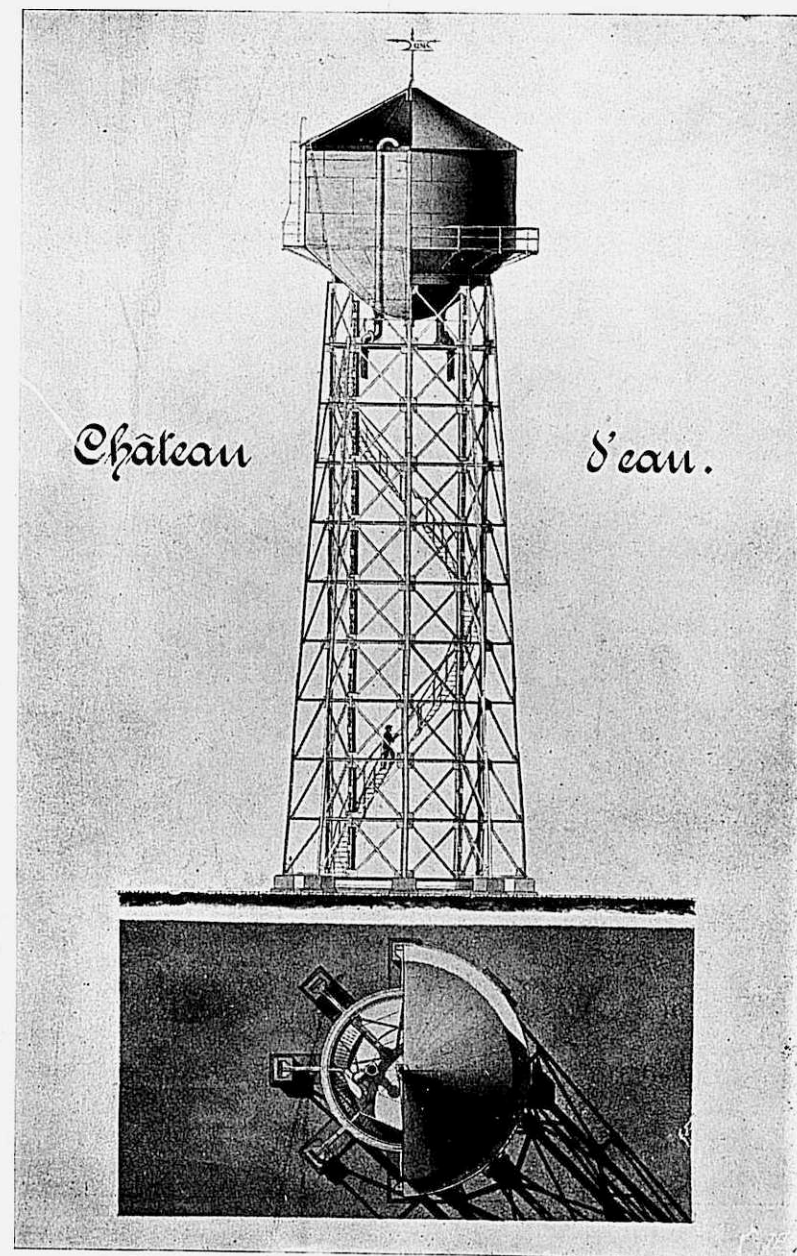
Центральная лѣстница—винтовая.



Фиг. 36.

Желѣзная водопроводная башня въ имѣніи „Сторожево“ (Рязан. губ.), принадлежащаго Ю. С. Нечаеву-Мальцеву.

(Первая гиперболоидальная башня, построенная въ 1896 году по проекту инж. В. Г. Шухова.)



Фиг. 37.

Желѣзная водонапорная башня въ Макѣевкѣ. Въсѣ башни съ резервуаромъ 4100 пудовъ.

(По проекту Акц. Общ. Механическихъ и Котельныхъ заводовъ „В. Фицнеръ и К. Гамперъ“, Сосновница).

Водопроводная башня съ резервуаромъ сист. Инце на 9500 вед. воды въ имѣніи „Сторожево“, принадлежащаго Ю. С. Нечаеву-Мальцеву.

Эта первая башня, построенная по проекту инженера В. Г. Шухова, была сначала собрана въ 1896 году на Всероссійской Выставкѣ въ Нижнемъ-Новгородѣ. Послѣ окончанія выставки, она была продана Ю. С. Нечаеву-Мальцеву и поставлена въ его имѣніи «Сторожево» (Рязанской губ.) для орошенія фруктоваго сада, площадью въ 65 десятинъ.


Гиперболоидальный остовъ 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.

Остовъ 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.

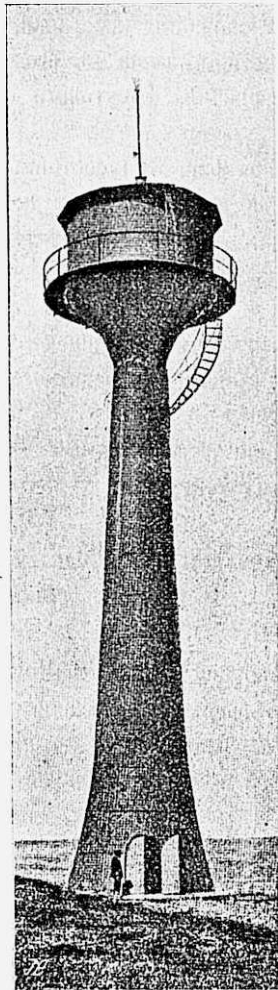
Рѣшетчатый остовъ желѣзной водонапорной башни, въ Макѣевкѣ, состоитъ изъ восьми основныхъ реберъ (вертикальных фермъ), изъ двухъ швелеровъ  № 20—каждое, расположенныхъ по окружности діаметра 6,2 метра съ откосами въ два метра у основанія. Высота остова башни до опорнаго кольца 25 метровъ. (См. фиг. 37-ю).

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 стремянной 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. Гамперъ» 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 остова 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 усѣченного конуса, высотой въ 2,2 метр., съ провиснымъ сферическимъ дномъ. Резервуаръ башни окруженъ платформой изъ рифленого желѣза на кронштейнахъ, прикрѣпленныхъ къ конической части лѣстница. 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 Об-ва Механическихъ и Котельныхъ Заводовъ „В. Фицнеръ и К. Гамперъ“, Сосновцы).

Башня сооружена 8 лѣтъ тому назадъ Акціонернымъ Обществомъ Котельныхъ и Механическихъ Заводовъ «В. Фицнеръ и К. Гамперъ» по заказу, фирмы «Држевецкій и Езiorанскій», устранившей 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 чутундаго кольца резервуара въ саж.	Емкость резервуара.		Стоимость башни и резервуара въ рубляхъ	Средняя стоимость саж.—ведра башни въ руб.
			Въ куб.саж.	Въ ведр.		
		h.	V.	V.	P.	$m = \frac{P}{h \cdot V}$
Кегичевка, станція Харьково - Николаев. жел. дороги.	Кирпичная башня съ фундаментомъ и цоколемъ изъ гранитной бутовой кладки, на известковомъ растворѣ.	4	8	6315	6750	0,267
Сахиовщина, 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 желѣзные гиперболическія башни, какъ самыя деше-

вые 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 гиперболическія 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.

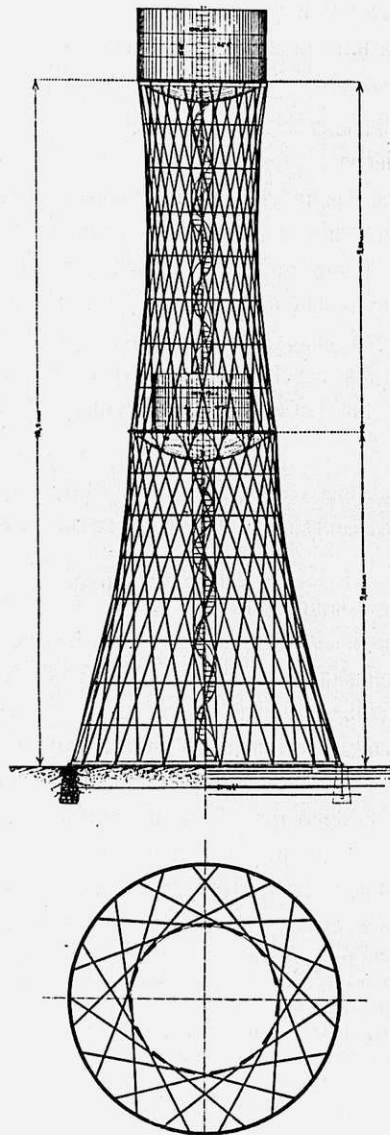
Водонапорная башня имѣетъ два желѣзныхъ резервуара, (см. фиг. 39): первый, емкостью 20 куб. саж. (**) высокаго давленія (противопожарный)—на высотѣ 18,5 саж. отъ уровня фундамента до цилиндрической части резервуара, и второй, емкостью 12 куб. саж. (***) низкаго давленія (для водоснабженія)—на высотѣ 9 саж., считая отъ уровня фундамента до цилиндрической части его резервуара. Тотъ и другой съ сферическими днищами. Верхній резервуаръ установленъ на верхнемъ жесткомъ кольцѣ гиперболическаго остова, нижній-же подвѣшенъ къ среднему кольцу остова продолженіемъ своего свѣшивающагося днища.

(*) Дешевизна постройки гиперболической 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 сист. 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.

(**) Диаметръ 24 фут. 6 дм., высота цилиндра 13 фут. 6 1/2 дм., стрѣла днища 4 фут. 1 дм.

(***) Диаметръ 19 фут. 3 дм., высота цилиндра 13 фут. 9 3/4 дм., стрѣла днища 3 фута.



Фиг. 39.

Въ 1 : 360 натур. величины.

Желѣзная 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 гиперболоидовъ, которые соединяются между собою у среднего кольца діаметра 28 футовъ.

Цѣль устройства двухъ гиперболоидовъ съ общимъ основаніемъ введена инженеромъ В. Г. Шуховымъ для полученія возможно большаго числа пересѣченій уголковыхъ стоекъ остова между собою, что увеличиваетъ прочность при наименьшей затратѣ матеріала и, какъ слѣдствіе, придаетъ всему сооруженію наиболѣе красивый видъ.

Нижній гиперболоидъ остова состоитъ изъ 30-ти уголковъ сѣченія $4,5 \times 4,5 \times \frac{5}{8}$ дм., укрѣпленныхъ внизу къ опорному фундаментному кольцу діаметра 51 фут. 6 дм. и перевязанныхъ 7-ю горизонтальными кольцами.

Поперечное сѣченіе фундамента—въ видѣ трапеціи съ параллельными 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 другимъ на одной башнѣ, представляется возможность ихъ оборудовать системой трубъ такъ, что въ случаѣ необходимости имѣть большое давленіе въ путевомъ кранѣ для скорѣйшаго снабженія водой поѣздовъ большой важности, можно пользоваться для забора воды изъ резервуара высокаго давленія. Кромѣ того—подобная система облегчаетъ въ значительной степени всякій ремонтъ резервуаровъ и въ нѣкоторыхъ случаяхъ исключаетъ необходимость устройства опасныхъ въ пожарномъ отношеніи и требующихъ частаго ремонта деревянныхъ навильоновъ 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 сооружений.

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 сооружениями водопроводные инженеры за послѣднее время 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.

Нѣкоторыя желѣзные дороги уже построили для своихъ водоснабженій желѣзо-бетонныя водоемныя зданія съ небольшою экономіей по сравненію съ кирпичными башнями.

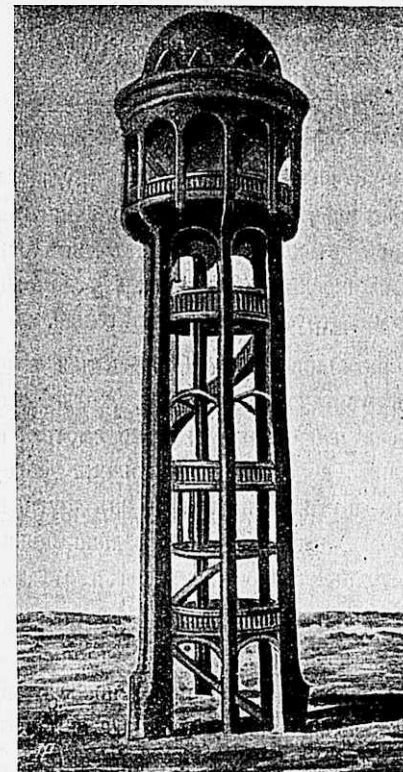
Наименьшая стоимость обыкновенной желѣзо-бетонной башни съ желѣзо-бетоннымъ резервуаромъ на 8 куб. сажень вмѣстимости и установленнаго, отъ головки рельса, на высотѣ 4 сажень—приблизительно 5,5 тысячъ рублей, что составляетъ среднюю стоимость саж.—ведра

$$m = \frac{5500}{6315.4} = 0,217 \text{ руб.},$$

т. е. дешевле большинства кирпичныхъ башенъ, но дороже желѣзныхъ.

Одна изъ недорогихъ желѣзо-бетонныхъ башенъ—башня для водоемного 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. Зингенѣ (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 сверху $0,6 \times 0,45$ 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 миллионныхъ ведеръ, при способѣ подачи воды изъ источниковъ черезъ возвышенные мощные резервуары, въ большинствѣ случаевъ представляется выгоднымъ примѣнять каменные, кирпичныя 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.

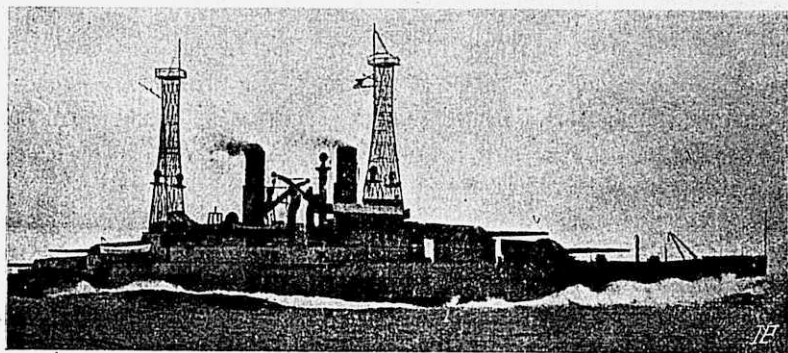
Наша задача заключалась въ возможно широкомъ освѣщеніи вопросовъ устройства, оборудованія и эксплуатаціи металлическихъ башенъ существующихъ водоснабженій городовъ и заводовъ и вслѣдствіе этого о современныхъ каменныхъ, кирпичныхъ и желѣзо-бетонныхъ башняхъ упоминали только настолько, насколько онѣ соприкасались при общихъ выводахъ и заключеніяхъ при сравненіи 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 сѣтки, по проекту, обыкновенно намѣчается въ одной или двухъ определенныхъ частяхъ города, сообразно которымъ перѣдко намѣчается мѣсто установки башни, а между тѣмъ жизнь и развитіе города могутъ совсѣмъ не оправдать проектныхъ предположеній и центръ тяжести наибольшаго разбора воды изъ сѣтки можетъ оказаться, со временемъ, въ такомъ пунктѣ, для котораго построенная башня въ смыслѣ емкости своего резервуара окажется вполне достаточной, но въ смыслѣ напора — совершенно нерациональной. 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 истечении же этого срока — само развитие водопровода укажет более выгодное место установки *второй* башни, которое позволит наиболее рационально и весьма дешево использовать объём башни не только в смысле общей ёмкости их резервуаров, но и в смысле напора воды. Выгодное соотношение искусственных напорных горизонтов в возвышенных резервуарах башен влечёт за собою более равномерное распределение потерь напора в участках водопроводной сети, — условие в высшей степени ценное для всякого водопровода.

В дополнение к изложенным преимуществам металлических башен считаем необходимым упомянуть, что легкая и простая в смысле сборки система инж. В. Г. Шухова особенно выделяется из числа ряда других металлических конструкций и пользуется в последнее время замечательным распространением, не только в области водопроводной техники, но и в других её областях.

Американский флот гиперболическую сетьку применяет для устройства мачт с наблюдательными вышками для своих судов (фиг. 41), как наиболее легкую, устойчивую и с меньшим сопротивлением воздуху, при движении судна. Подобную мач-



Фиг. 41.
Американский дредноут „Мичиганъ“ с гиперболическими съетчатыми мачтами.

ту съетчатого типа трудно привести в полную негодность однимъ снарядомъ выстрѣла, чѣмъ сплошную (*).

Въ настоящее время заводомъ инж. А. В. Бари заканчиваются сооруженіемъ два гиперболическихъ маяка, Станиславъ — Аджигольскій, 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 гиперболическое вращеніе, 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 опорнаго кольца, 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 шпиля 28,55 метр.

Къ фундаменту маякъ укрѣпленъ 48 болтами, діам. $1 \frac{3}{8}$ дм. и длиной 2,375 метр.

Къ верхнему желѣзному помѣщенію ведетъ винтовая центральная лѣстница, въ закрытой трубѣ діам. 2 метра, съ 4 площадками, окнами и откидными стульями.

Всѣ металлической конструкціи около 3500 пудовъ.

(*) Мачты съетчатого типа у насъ установлены на броненосцахъ „Андрей Первозванный“ и „Павелъ I“ всего два года тому назадъ. Онѣ 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) Аджигіольскій маякъ.

Этотъ маякъ собранъ изъ 60 стоекъ, угловое желѣзо которыхъ по размѣрамъ представляется въ слѣдующемъ видѣ:

1 ярусъ	100×100×11	м.м.
2 >	90×90×12	>
3 >	90×90×11	>
4 >	90×90×9	>
5 >	80×80×8	>
6 >	60×60×8	>

Стойки перевязаны 27-ю горизонтальными кольцами, не считая фундаментнаго. Сбѣченія углового желѣза колецъ отъ 60×60×8 м.м. до 100×100×12 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 остова маяка прикрѣпленъ 60-ю болтами, діам. 2¼ дм. и длиной 3,3 метра.

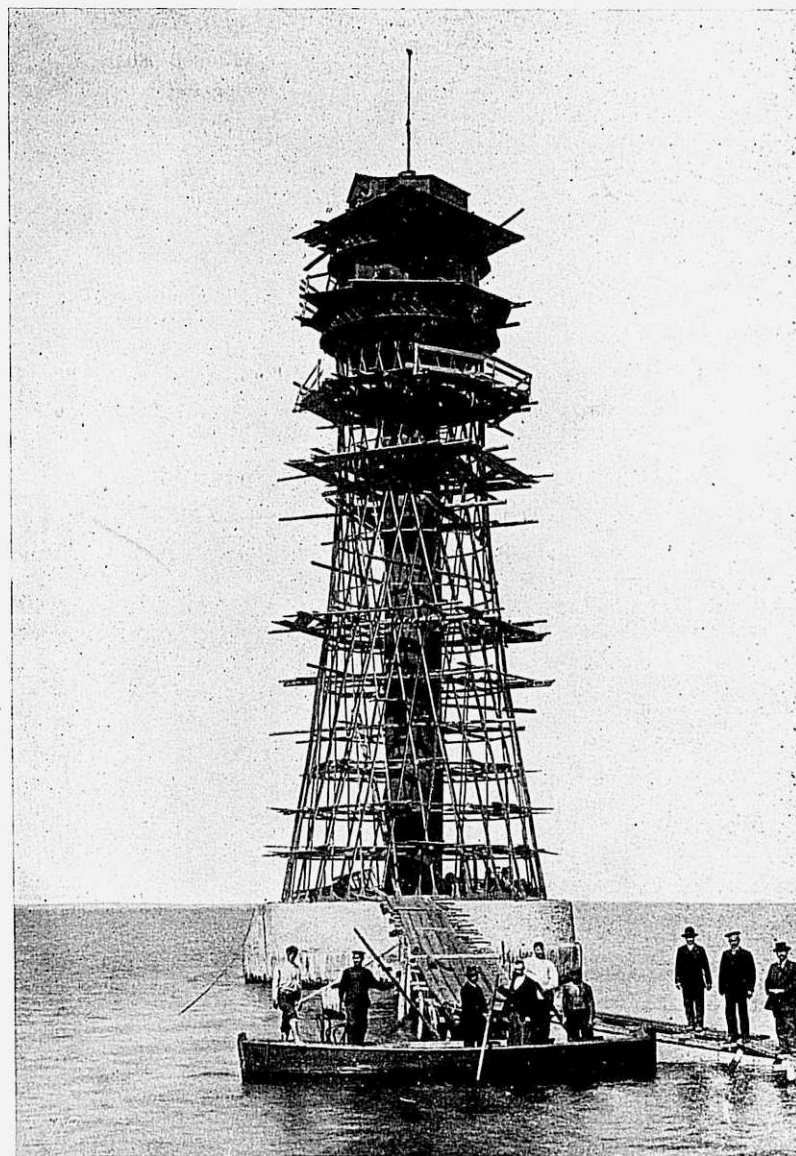
Центральная винтовая лѣстница, съ 12 площадками, заключена въ сплошную трубу изъ листового желѣза діам. въ 2 метра, съ 12 окнами.

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 беспроволочныхъ телеграфовъ и пр. сооружений.



Фиг. 42.
Станиславскій гиперboloидальный желѣзный маякъ подъ Херсономъ
(По проекту инж. В. Г. Шухова).