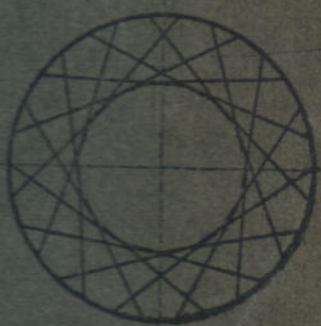


628.1
П-30

МАР 1917

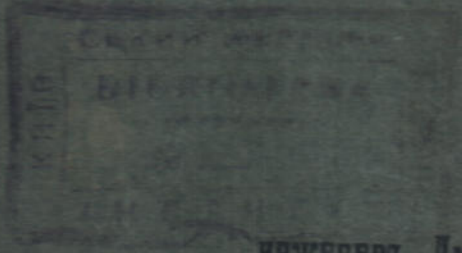
ЖЕЛѢЗНЫЯ
ВОДОПРОВОДНЫЯ БАШНИ.
Ихъ назначеніе,
конструкціи и расчеты.

2-е изд.



2863
4/27

ЦѢНА 4 РУБ.



ИНЖЕНЕРЪ ДМ. ПЕТРОВЪ.
1917.

2813

✓ П

У

МАР 1935

628.1
П.30

ЖЕЛѢЗНЫЯ ВОДОПРОВОДНЫЯ БАШНИ. ИХЪ НАЗНАЧЕНІЕ, КОНСТРУКЦІИ И РАСЧЕТЫ.

1100

дог. 624

2-ое изданіе.

дог. 624

2863 old
51782

проверено
1966 г.

~~ФУНДАМЕНТАЛЬНА БІБЛІОТЕКА
ХАРКІВСЬКОГО
СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКОГО ІНСТИТУТУ~~
24936

КИЇВ
СЬКИЙ МЕДІОРА
БІБЛІОТЕКА
№
ІНСТИТУТ

ЦЕНА 4 РУБ.

Одеський Інженерно-
Бібліотека
Меліоративний Інститут

ИНЖЕНЕРЪ ДМ. ПЕТРОВЪ.

Дозволено военной цензурой. Феодосія.

ФЕОДОСИЯ.

Типо-литографія Центральной Станціи Гидро-Метеорологической Службы.
1917.

Дополнительное водоснабжение сети
основы для обслуживания города.

Х. Х. ГОСБЭСРБ

Сеть 1305-С. О. Одарського І. І.

24936

Водопроводы городовъ представляютъ собою санитарно-техническія предприятия первостепеннаго значенія и каждому образованному человѣку представляется вполне ясно, что избыточное водоснабженіе безусловно способствуетъ скорому развитію каждаго города и каждой населенной мѣстности.

Наше отечество, въ смыслѣ устройства общественныхъ водопроводовъ, далеко отстало отъ другихъ государствъ. Дѣйствительно,—во Франціи и Англіи трудно указать городъ или населенный пунктъ, съ 5-ти тысячнымъ населеніемъ, гдѣ-бы не было водопровода; въ Америкѣ—городскихъ водопроводовъ свыше 5000. Въ Германіи, только изъ 1478 городовъ, съ населеніемъ менѣе пяти тысячъ человѣкъ, имѣютъ водопроводы 631 городъ, а изъ 219 городовъ съ населеніемъ свыше 20 тысячъ человѣкъ, водопроводы имѣютъ 214 городовъ, т. е. 98%.

Въ Россіи, какъ это видно изъ правительственнаго изданія 1912 года «Водоснабженіе и способы удаленія нечистотъ въ городахъ Россіи»—1063 города имѣютъ 219 водопроводовъ, что составляетъ 20,6% отъ общаго числа. Кромѣ того 20 губернскихъ городовъ совсѣмъ не имѣютъ водопроводовъ.

Всѣ водопроводы русскихъ городовъ, по имѣющимся свѣдѣніямъ Постояннаго Бюро Всероссийскихъ Водопроводныхъ и санитарно-техническихъ съѣздовъ,—располагаютъ общей длиной магистралей, основной водопроводной сѣти, только около 5000 верстъ и снабжаютъ въ государствѣ общее количество населенія въ 15 милліоновъ человѣкъ, отпуская въ среднемъ въ сутки только 62 милліона ведеръ воды, въ какое количество входитъ 65% воды изъ водопроводовъ Москвы, Петрограда, Варшавы и Одессы. Стоимость всѣхъ водопроводовъ въ Россіи около 140 милліоновъ рублей, въ томъ числѣ 83 милліона рублей, составляющихъ стоимость четырехъ водопроводовъ вышеуказанныхъ городовъ. Между тѣмъ, какъ 8 водопроводовъ Лондона, стоимостью въ четыре раза болѣе стоимости всѣхъ русскихъ водопроводовъ, въ 1911 году отпускали 75 милліоновъ ведеръ воды въ сутки (въ среднемъ), т. е. на 13 милліоновъ ведеръ болѣе средняго суточного водопотребленія всѣхъ русскихъ водопроводовъ. Нью-Йоркъ съ двумя милліоннами жителей въ 1902 году отпускалъ въ среднемъ за сутки въ два раза, а Чикаго—въ 1,7 разъ болѣе, чѣмъ всѣ наши водопроводы.

Большинство нашихъ водопроводовъ весьма плохо оборудованы и недостаточно развиты, а нѣкоторые ждутъ своего полного переустройства. Что касается ежегоднаго строительства новыхъ водопроводовъ, то оно крайнѣ ничтожно и наибольшее строительство, а именно 27 водопроводовъ, падаетъ на періодъ десятилѣтія 1900—1910 г.

Этотъ краткій матеріалъ въ достаточной степени иллюстрируетъ состояніе водопроводнаго дѣла въ нашемъ отечествѣ и русскимъ городскимъ общественнымъ управленіямъ придется приложить много труда, силъ, энергіи и знаній, чтобы поднять водопроводное дѣло въ Россіи до того состоянія, которое существуетъ за границей.

На ряду съ общей разработкой проектовъ водоснабженій городовъ,—конечно желательное знакомство строителей и съ тѣми или другими усовершенствованіями въ устройствѣ и конструкціяхъ разныхъ частей входящихъ въ составъ основнаго оборудованія водопроводовъ, вслѣдствіе чего мною предлагается настоящій трудъ, разсматривающій одинъ изъ серьезныхъ вопросовъ оборудованія, входящаго въ составъ почти всякаго водопровода, а именно,—вопросъ сооруженій водонапорныхъ башенъ, которыя являются необходимыми регуляторами расхода и напора воды въ водопроводахъ.

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 распространеніе въ дѣлѣ болѣе или менѣе крупныхъ водоснабженій городовъ.

Пополняя этотъ пробѣлъ въ специальныхъ инженерныхъ руководствахъ, курсахъ и вообще въ техническихъ изданіяхъ, тракующихъ о вопросахъ водоснабженій населенныхъ мѣстностей, полагаю, что предлагаемый здѣсь, основной матеріалъ о разныхъ башенныхъ установкахъ, значительно дополненный въ этомъ, второмъ, изданіи и накопившійся за послѣднее время моей инженерной дѣятельности, оправдываетъ свое назначеніе, при всестороннихъ разсмотрѣніяхъ всякихъ типовъ башенъ, во время проектированія современныхъ центральныхъ водоснабженій городовъ, посадовъ и мѣстечекъ.

Авторъ.

ЖЕЛѢЗНЫЯ ВОДОПРОВОДНЫЯ БАШНИ, ИХЪ НАЗНАЧЕНІЕ, КОНСТРУКЦІИ И РАСЧЕТЫ.

Послѣ подробныхъ гидрогеологическихъ изслѣдованій и нивелировки мѣстности, въ которой предполагается устроить центральное водоснабженіе, строители—специалисты приступаютъ къ составленію полнаго проекта водоснабженія, выбирая наивыгодный, въ смыслѣ эксплуатаціи, способъ подачи требуемаго количества воды, т. е. опредѣляютъ основную систему центрального водоснабженія и такимъ образомъ, чтобы въ будущемъ по мѣрѣ развитія водопровода представлялась полная возможность его рациональнаго расширенія.

Такимъ образомъ 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, диаметровъ трубъ сѣти, длины магистралей, отъ величины напора и пр.

Въ нѣкоторыхъ городахъ вода можетъ поступать въ требуемомъ количествѣ непосредственно въ сѣть города самотекомъ, если источники расположены на столь высокой точкѣ мѣстности, что напоръ воды въ сѣти трубъ можетъ оказаться вполне достаточнымъ для полезнаго функціонированія водопровода; въ другихъ городахъ или посадахъ воду приходится нагнетать насоса-

ми непосредственно въ сѣть магистралей подѣ известнымъ давленіемъ, т. е. приходится давить воду въ сѣть и тѣмъ самымъ сообщать необходимый напоръ; въ прочихъ городахъ воду приходится, *частію* или *полностью*, нагнетать въ специально-устроенные возвышенные водоемы, которые служатъ, какъ для храненія запаса воды, такъ и для образованія требуемаго искусственнаго напорнаго горизонта,—напр. водонапорные и уравни-тельные водоемы.

Эти водоемы,—регуляторы расхода и напора воды,—устраиваются на естественныхъ возвышенностяхъ водоснабжаемой мѣстности въ видѣ особыхъ бассейновъ, располагаемыхъ подѣ землей или непосредственно на поверхности земли, или-же, гдѣ нѣтъ естественной возвышенности, въ видѣ желѣзныхъ и желѣзо-бетонныхъ резервуаровъ, устанавливаемыхъ на специальныхъ башняхъ изъ кирпича, камня, желѣзо-бетона, желѣза и др. строительныхъ матеріаловъ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда расходъ воды во все время потребленія изъ водопровода близокъ къ постоянному—для регулированія напора въ сѣти, въ послѣднюю ранѣ включались, вмѣсто возвышенныхъ резервуаровъ такъ называемыя водонапорныя колонны, представляющія собой высокіе резервуары самаго малаго объема.

Устройство колонны заключалось обыкновенно въ слѣдующемъ: двѣ высокіхъ вертикальныхъ трубы, нагнетательная и разводящая соединялись обыкновенными фасонными частями между собою на высотѣ, съ такой нивелировочной отмѣткой, которая обезпечивала требуемый полезный напоръ въ сѣти города; эти двѣ вертикальныя трубы заключались въ особое каменное или кирпичное помѣщеніе, въ видѣ трубы-башни, въ которой располагалась спиральная лѣстница. Все это въ цѣломъ и представляло водонапорную колонну. Подобныя колонны безусловно дѣйствуютъ хуже, чѣмъ рационально расположенные на соответствующей высотѣ резервуары большой емкости, а при одинаковомъ дѣйствіи въ большинствѣ случаевъ колонны обходились значительно дороже башенъ. Такъ какъ въ городахъ постояннаго часового расхода воды изъ водопроводовъ не бываетъ, машины водопровода при наличіи одной водонапорной колонны

работаютъ крайне неравномѣрно и слѣдовательно ихъ продуктивность во время эксплуатаціи сильно понижается, то колонны теперь совершенно не употребляются въ практикѣ водоснабженія городовъ. Даже въ тѣхъ случаяхъ, когда при наличіи въ сѣти возвышенныхъ резервуаровъ, колонны могли-бы служить компенсаторами гидравлическихъ ударовъ въ длинныхъ водоводахъ, употреблять ихъ вслѣдствіе большой стоимости, удорожающей эксплуатацію водопровода—нежелательно, ибо автоматическіе предохранительныя клапаны высокой чувствительности съ большой пользой для дѣла могутъ замѣнить собою колонны—компенсаторы.

Водонапорныя колонны, вначалѣ получившія большое распространеніе въ Америкѣ, теперь замѣняются резервуарами. Интересно отмѣтить, что въ Америкѣ были частые случаи полного разрушенія металлическихъ колоннъ. Причиной разрушенія большей частью было—образованіе льда зимой внутри ихъ трубъ и при внезапномъ осѣданіи послѣдняго образовывалось перенапряженіе швовъ колоннъ. Были случаи паденія колоннъ послѣ урагана. Большія разрушенія были въ Кливлендѣ, Джерси-Сити, Канкаки,—Витландѣ, Франклинѣ, и др. городахъ. 28 случаевъ крушенія изучены, собраны и систематизированы Лоренсомъ въ Америкѣ, который выпустилъ по этому вопросу специальную книгу.

У насъ водонапорныя колонны есть въ Варшавѣ и Одессѣ. Въ Европѣ колонны совершенно оставлены, въ Лондонѣ и Любекѣ замѣнены возвышенными резервуарами.

Въ настоящее время самымъ рациональнымъ регуляторомъ расхода и напора воды безусловно является, какъ было выше указано, резервуаръ надлежащей емкости, въ зависимости отъ общей мощности водопровода, расположенный на естественной возвышенности или гдѣ нѣтъ послѣдней,—резервуаръ установленный на специальной башнѣ.

Ранѣе водонапорныя башни устраивались главнымъ образомъ изъ кирпича или изъ разныхъ породъ мѣстнаго камня и практика выработала двѣ основныхъ системы башенъ—французскую и нѣмецкую. Въ первой—резервуаръ устанавливается периметромъ своего днища на металлическое опорное кольцо, ко

торое въ свою очередь располагается на основныхъ стѣнахъ башни, самое же днище резервуара находится на вѣсу съ такимъ расчетомъ, чтобы его матеріалъ подвергался только растягивающимъ усиліямъ. Остовъ самой башни состоитъ только изъ наружныхъ стѣнъ, а внутреннее нижнее пространство обыкновенно занимаетъ лѣстницей, сообщающей резервуаръ башни съ поверхностью земли. Въ этой системѣ давленіе резервуара черезъ свое основное кольцо периметра, передается *совершенно равномерно* на основаніе башни.

Во второй системѣ, нѣмецкой, резервуаръ устанавливается на металлическихъ балкахъ, радіально расположенныхъ на стѣнахъ башни, для чего внутри башни, кромѣ ея основныхъ наружныхъ стѣнъ—устанавливается еще концентрическая стѣна, связанная обыкновенно четырьмя фундаментальными перегородками съ наружными стѣнами башни. Въ этой системѣ резервуаръ устанавливается съ плоскимъ дномъ, лежащимъ на желѣзныхъ балкахъ, а концы послѣднихъ, опираясь на стѣны, передаютъ давленіе резервуара стѣнамъ рядомъ сосредоточенныхъ *одинаковыхъ* грузовъ и такимъ образомъ, чтобы это давленіе передавалось *черезъ средину* толщины стѣнъ. Если же это главное условіе не соблюсти, то грунтъ подъ подошвой основанія стѣнъ башни будетъ подвергаться неравномѣрному давленію, что безусловно нежелательно для прочности и долговѣчности самого сооруженія. Нужно всегда помнить, что хорошее основаніе—залогъ прочности всякаго сооруженія.

Изъ этихъ двухъ системъ—всѣ преимущества остаются за французской системой, какъ болѣе экономической и конструктивной и башни нѣмецкой системы теперь не примѣняются.

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 85⁰/₁₀₀ всѣхъ существующихъ русскихъ водопроводовъ имѣютъ башенныя установки, или такъ называемую резервуарную систему съ искусственнымъ подъемомъ воды. По основному принципу—распределенія давленія резервуара на основаніе желѣзной башни, послѣднія слѣдуетъ причислить къ французской системѣ.

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

Таблица желѣзныхъ башенныхъ установокъ на русскихъ водопро-
водахъ.

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. ре- зервуара въ футахъ	Полезная емкость ре- зервуара въ ведр.	Конструкція остова башни
1	Николаевъ — город- ской водопроводъ (постр. въ 1907 г.)	84	50000	Желѣзная сѣтка осто- ва. — гиперboloидъ вращенія. — систе- мы инж. В. Г. Шу- хова.
2	Херсонъ — городской водопроводъ, при- надлежащій Пасту- хову	42	42500	Желѣзные устои изъ вертикальн. фермъ, перевязанные гори- зонтальными коль- цами изъ углового желѣза и скрѣп- ленные вѣтровыми связями.
3	Армавиръ — водопро- водъ города	42	10000	6 чугунныхъ колоннъ, связанныхъ между собой скрѣпленіями изъ углового жел.
4	Самара — водопроводъ казеннаго трубоч- ного завода	120	15000	Желѣзная сѣтка осто- ва, — гиперboloидъ вращенія. — систе- мы инж. В. Г. Шу- хова.
5	Коломна — водопров. города	120	10000	
6	Ефремовъ — городской водопроводъ	56	10000	

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. ре- зервуара въ футахъ	Полезная емкость ре- зервуара въ ведрахъ	Конструкція остова башни	
7	Ярославль—водопро- водъ завода Торго- во-Промышленнаго Товарищ. „П. И. Оловянишникова и С-ья“	56	10000	Железная сѣтка осто- ва,— гиперболоидъ вращенія,— систе- мы инж. В. Г. Шу- хова.	
8	Москва—водопроводъ винокуреннаго за- вода Б. А. Гивар- товскаго	56	10000		
9	Кокандъ — водопров. маслобойнаго заво- да Андреевскаго Торгово - Промыш- леннаго Товарище- ства	56	10000		
10	Село Сторожево (Ря- занской г.), водо- проводъ П. С. Не- чаева-Мальцева	84	9500		
11	Царицынъ на Волгѣ, Уральско-Волжское Металлургическое Общество	50	3000		
12	Москва—Симоново,— водопроводъ заво- да Центрального Электрическаго Об- щества	82	2300		
					п. н. о.

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. резервуара въ футахъ	Полезная емкость резервуара въ ведр.	Конструкция остова башни
13	Любимовскій Постъ (Екатеринославск. губ.) Донецкій содовый заводъ „Любимовъ, Сольва и К ^о “	72	2250	Желѣзная сѣтка остова, — гиперболоидъ вращения, — системы инж. В. Г. Шухова.
14	Анджанъ — водопроводъ Товарищества „В. Алѣксѣевъ“	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.
16	Макѣвка	82	24000	Желѣзные устои: — 8 вертикальных фермъ, изъ двухъ швелеровъ № 20 каждая, расположенныхъ по окружности діаметра 6,2 метра съ откосами въ два метра у основанія.
17	Харьковъ — городской водопроводъ. (Построена въ 1912 г.)	110	60000	Желѣзная сѣтка остова, — гиперболоидъ вращения, — системы инж. В. Г. Шухова.
18	Иваново-Вознесенскъ водопроводъ городской больницы. (Постр. 1913 г.)	50	3000	

	Мѣсто установки	Высота башни по основ. резервуара въ футахъ	Полезная емкость резервуара въ ведр.	Конструкція остова башни
19	Луга, станція Сѣверо-западныхъ ж. дор. (Постр. 1913 г.) .	56	12800	Желѣзная сѣтка остова,— гиперболоидъ вращения,— системы инж. В. Г. Шухова.
20	Шлиссельбургъ, пороховой заводъ . .	56	6400	
21	Михайловъ. (Рязанской губ.), Еринскій портландъ--цементный заводъ. (Постр. 1913 г.) .	82	12000	
22	Ассаке, станція Средне-Азиатской ж. д. для завода Симхаева. (Постр. 1913 г.)	70	5000	
23	Баку, у г. М. С. Сарбекова. (Постр. 1913 г.)	28	600	
24	Ярославль—для интенданства * * * пѣхотной дивизіи (Постр 1913 г.) .	31,5	5000	
25	Прилуки — городской водопроводъ. (Пост. 1914 г.)	63	15000	
26	Московский Сельскохозяйственный Институтъ. (Постр. 1914 г.)	112	10000	

	Мѣсто установки	Высота башни до основ. ре- зервуара въ футахъ.	Полезная емкость ре- зервуара въ ведр.	Конструкція остова башни
27	Москва—Русское О-во беспроволочныхъ телеграфовъ и теле- фоновъ. (Постройки 1914 г.)	56	6400	
28	Лобня, станція Сѣвер- ныхъ ж. дор.—для Качалкинскаго лу- гового хозяйства Московского сель- ско-хозяйственнаго института. (Постр. 1915 г.)	112	10000	
29	Казанскій пороховой заводъ. (Постройки 1915 г.)	52	10000	Желѣзная сѣтка осто- ва,— гиперболоидъ вращенія,— систе- мы инж. В. Г. Шу- хова.
30	Стан. Чарусти— О-ву П. В. Барановскаго для порохового за- вода	110	60000	
31	Воронежъ — городск. водопр. (Пост. 1917г.)	84	100000	
32	Царицынъ, Общество артиллерійскихъ за- водовъ	84	30000	
33	Тамбовъ. Пороховой заводъ. Двѣ рядомъ стоящія башни вы- сотою по 70 фут. съ баками по 60000 ведеръ,—общей ем- кости 120000 вед.	70	60000	

Изъ этихъ 33 желѣзныхъ башенъ разныхъ типовъ, самой большой по емкости резервуара 100 тыс. ведеръ—является гиперболоидальная, ажурная башня Воронежскаго городского водопровода, а съ простымъ рѣшетчатымъ остовомъ—водопровода города Херсона; большей-же частью преобладаютъ башни съ резервуаромъ отъ 5 до 10 тысячъ ведеръ.

Практика водопроводнаго дѣла послѣднихъ двадцатипяти лѣтъ, за каковое время главнымъ образомъ построены вышечисленные 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 гиперболоидальнымъ сѣтчатымъ остовомъ, системы извѣстнаго инженера В. Г. Шухова, изготовляемыя Московскимъ заводомъ инженера А. В. Бари. Этотъ заводъ за послѣдніе четыре года построилъ до 20 башенъ.

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

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

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

$Q=n. P_1$ —для города безъ канализаціи.

$Q=2. n. P_2$ —для города съ канализаціей.

Здѣсь: V —полезная емкость водонапорнаго резервуара въ ведрахъ.

Q —средній 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 —средній наибольшій разборъ воды въ сутки однимъ жителемъ.

Рѣшая систему уравненій, находимъ:

а) для города безъ канализаціи $V=0.30. n. P_1$ или

$$P_1 = \frac{V}{0.30. n}$$

б) для города съ канализаціей $P_2 = \frac{V}{0.60. n}$

Подставляя въ окончательныя формулы разсматриваемую полезную емкость резервуара въ 50 тысячъ ведеръ и вмѣсто n —его значеніе, равное для русскихъ городовъ 1.5—2 вед., имѣемъ въ округленныхъ цифрахъ:

P_1 —отъ 84000 до 120000 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 человекъ. 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, станціяхъ, поселковъ, заводовъ или въ качествѣ контръ-резервуаровъ при расширеніи существующихъ городскихъ водопроводовъ.

Останавливаясь на больших башняхъ съ существующими резервуарами указанной емкости, можемъ подтвердить, что заводы могутъ, безъ ущерба для принятыхъ конструкцій стѣчатыхъ остововъ башенъ устраивать ихъ съ резервуарами достигающими емкости до 150 тысячъ ведеръ и болѣе, при соблюденіи статическихъ и практическихъ требованій ихъ прочности и устойчивости. При полученіи, по расчету, резервуара емкости свыше 150 тысячъ ведеръ, лучше всего обосновывать водоснабженіе съ контръ-резервуаромъ, т. е. съ водонапорнымъ резервуаромъ въ началѣ питаія и вторымъ резервуаромъ, въ концѣ сѣти.

Рѣшеніе этого вопроса можетъ зависѣть и отъ другихъ причинъ, какъ-то: отъ топографіи мѣстности, системы сѣти магистралей и пр., а потому въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ—его необходимо обосновывать на наивыгодности устройства всего оборудованія водоснабженія.

Кромѣ того, чтобы не дѣлать одного резервуара слишкомъ большой емкости, возможно пользоваться сдваиваніемъ резервуаровъ, т. е. устанавливать, на двухъ рядомъ и отдѣльно стоящихъ башняхъ, по резервуару меньшей емкости. Напримѣръ, въ гор. Тамбовѣ, на пороховомъ заводѣ устроены двѣ рядомъ стоящія башни, высотой по 70 фут. и резервуаромъ въ 60 тысячъ ведеръ каждая. Послѣдній случай башенныхъ установокъ имѣетъ за собой большія преимущества, въ смыслѣ ремонта, и въ смыслѣ наивыгоднѣйшаго распредѣленія скоростей воды въ основныхъ магистральныхъ, если резервуары питаютъ ихъ въ разныхъ пунктахъ большого разбора воды.

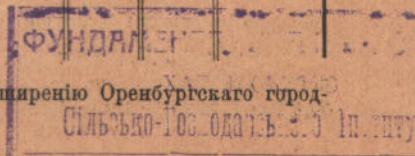
Изъ дальнѣйшаго описанія и изъ техническихъ расчетовъ отдѣльныхъ конструкцій желѣзныхъ башенныхъ установокъ будетъ видно, съ достаточной ясностью, насколько онѣ удовлетворяютъ своему назначенію, при современномъ состояніи водопроводной техники и при климатическихъ условіяхъ холодной Россіи, теперь же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

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.	$m = \frac{P}{h \cdot V}$
Калуга, город. водопроводъ.	Кирпичная башня съ 2 желѣзными резервуарами и оборудованіемъ . . .	8,5	25000	30000	0,141
Полтава, город. водопроводъ.	Каменная башня съ желѣзнымъ резервуаромъ и оборудованіемъ	11,6	28500	25000	0,075
Минскъ, город. водопроводъ.	Каменная башня съ двумя желѣз. резервуарами на 17419 вед. и 5216 ведеръ и оборудованіемъ	9,25	22635	20000	0,082
Екатеринодаръ, город. водопров.	Кирпичная башня съ желѣзнымъ клепаннымъ резервуаромъ и оборудованіемъ	12	10000	10000	0,083
Двинскъ, город. водопроводъ.	Кирпичная, 6-гранная, съ двумя желѣзными резервуарами по 15000 вед. и оборудованіемъ—(ср. высота) . . .	6	30000	14500	0,080
Витебскъ, город. водопроводъ.	Каменная башня съ желѣзнымъ резервуаромъ и оборудованіемъ . . .	6	12000	15000	0,208
Оренбургъ, город. водопроводъ.	Кирпичная башня съ желѣзнымъ резервуаромъ и оборудованіемъ . . .	5,62	100000	50500 (*)	0,088
Рыбинскъ, город. водопроводъ.	Кирпичная башня съ желѣзнымъ резервуаромъ и съ оборудованіемъ . . .	9	15000	31719	0,234
Москва, город. водопроводъ.	Крестовская башня, кирпичная, съ оборудованіемъ	14	150000	296373	0,141
Кіевъ, городок. водопроводъ.	1-я Каменная башня съ оборудован.	6,39	13000	16000	0,200
»	2-я » » » »	6,58	13000	16000	0,190
»	3-я » » » »	8,78	18000	23000	0,146
Херсонъ. Водопроводъ Южн. желѣзн. дорога.	Каменная башня съ резервуаромъ и необходимымъ оборудованіемъ . . .	6,25	9475 (12 кв. саж.)	6500	0,110
Босани.—Станція Южныя ж. д.—водопроводъ.	»	4,50	6315	4500	0,158

* Согласно утвержденной Думою сметы № 2 по расширенію Оренбургскаго город. водопровода въ 1909 году.



Мѣсто устан овки башни	Типъ башни	Высота башни до дна резер вуара въ саж.	Емкость ре зервуара въ ведрахъ	Стоимость въ руб.	Средняя стоимость саж.—вед.
		h	V	P.	$m = \frac{P}{h \cdot V}$
Зингенъ, (во допроводъ) Гер манія.	Желѣзно-бетонная башня съ резер вуаромъ полезной емкости въ 250 куб. метр., высота башни до дна ре зервуара—48 метр.	22,5	20250	22000	0,048
Николаевъ, гор. водопроводъ	Гиперболоидальная ажурная башня сист. В. Г. Шухова съ резервуаромъ Инце на 50000 ведеръ. съ полнымъ оборудованіемъ 32000 руб., а считая жилой домъ для сторожа и ограж деніе башни—35638 р. 99 коп. (*) .	12	50000	32000	0,053
Самара, водо проводъ казен наго трубочна го завода.	Гиперболоидальная ажурная башня сист. В. Г. Шухова съ желѣз. резер вуаромъ и необходимымъ обор. . . .	17,15	15000	18000	0,069
Москва, водо проводъ завода Гивартовскаго.	Гиперболоидальная желѣзная башня сист. инж. В. Г. Шухова	8	10000	5000	0,063
Воронежъ, гор. водопроводъ.	Гиперболоидальная желѣзная башня сист. инж. В. Г. Шухова	12	100000	55000	0,046 **)
Армавиръ, гор. водопроводъ.	Желѣзная башня на 6 чуг. колон нахъ, связанныхъ скрѣпленіями изъ углового желѣза, съ резервуаромъ и оборудованіемъ	6	10000	8000	0,133
Херсонъ — во допроводъ горо да, принадлежа щій Д. А. Па стухову.	Желѣзная башня изъ вертикаль ныхъ фермъ, перевязанныхъ горизон тальными кольцами изъ углового желѣза, съ желѣзнымъ резервуаромъ, оборудованіемъ и съ водоразборной будкой	6	42500	25000	0,098

(*) См. составленный мной «Краткій отчетъ по постройкѣ Николаевского город
ского водопровода», вышущенный изъ печати въ 1909 г. стр. 19.

(**) Въ мартѣ 1917 года заканчивалась сборка этой желѣзной конструкции, послѣ
чего было приступлено къ оборудованію башни необходимыми трубопроводами. Стоимость
желѣзной конструкции—47000 руб. Стоимость же фундамента и оборудованія—8000 руб.

Въ прилагаемой таблицѣ, чтобы не повторяться, ибо много башенъ высотой въ 8 саж. давали среднюю стоимость саж.—ведра отъ 0,085 до 0,10 руб. выбраны главнымъ образомъ башни разной емкости, отъ 6315 до 100000 ведеръ и разной высоты, отъ 4,5 до 22,5 саж. и по возможности съ однообразнымъ необходимымъ оборудованіемъ. Такъ какъ сравненіе разныхъ системъ—по куботажу—не даетъ достаточно точныхъ результатовъ, предлагаемъ формулу такъ называемой средней стоимости саж.—ведра, т. е.

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

которая въ достаточной степени удовлетворяетъ своему назначенію и въ особенности для башенъ съ резервуарами до 100 тысячъ ведеръ.

Приведенные расчеты по этой формулѣ даютъ, что 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, $m = \frac{P}{h \cdot V}$,

железныя башни сист. В. Г. Шухова, при высокой цѣнѣ на желѣзо, оказываются дешевле каменныхъ и кирпичныхъ и лишь въ некоторыхъ случаяхъ дороже желѣзо-бетонныхъ.

Въ Германіи, гдѣ желѣзо всякихъ сортовъ значительно дешевле нашего—подобныя конструкціи инженера В. Г. Шухова обошлись-бы еще дешевле, чѣмъ показано въ таблицѣ. Напримеръ желѣзная контръ-башня водопровода въ г. Унна, остовъ которой состоитъ изъ обыкновенныхъ желѣзныхъ вертикальныхъ фирмъ, высотой 16,4 саж., а желѣзный резервуаръ шарообразной фармы емкостью 160 тысячъ ведеръ, обошлось все-

го въ 50 тысячъ рублей, *безъ оборудования*, и слѣдовательно—по нашей формулѣ для нея средняя стоимость саж.-ведра

$$m=0,019$$

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

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

2) Николаевскій городской водопроводъ имѣетъ сравнительно большую желѣзную башню, по высотѣ остова и емкости резервуара.

Еще въ первой половинѣ 1905 года въ Николаевѣ были назначены торги на каменные и кирпичныя работы по устройству предполагаемой тогда каменной водонапорной башни, начатые 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 только 1,5⁰/о.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

При включеніи въ эту смѣту 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, коковую 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 колодець 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 желѣзныя башни, особенно легкой системы инж. Шухова, обходятся значительно дешевле каменныхъ и кирпичныхъ и лишь весьма рѣдко уступаютъ въ этомъ желѣзо-бетоннымъ конструкціямъ.

Чтобы дать возможно полное представленіе о современныхъ желѣзныхъ башняхъ, съ теоретическими и практическими поясненіями и дать возможность строителямъ и вообще техникамъ составлять детальныя проекты башенъ, ниже приведемъ нѣсколько примѣровъ съ техническими расчетами и съ описаніемъ какъ ихъ конструкцій такъ и хода производства работъ. Для облегченія выполненія этой программы и для полноты и цѣльности этого труда рассмотримъ главныя части желательныхъ башенныхъ установокъ—отдѣльно, а именно:

- 1) фундаменты желѣзныхъ башенъ и фундаментныя помѣщенія,—галлерей.
- 2) остовы, или каркасы, желѣзныхъ башенъ.
- 3) резервуары и
- 4) оборудованіе башенъ трубами и разными водоуказательными контрольными приборами и механизмами.

Фундаменты желѣзныхъ водопроводныхъ башенъ и фундаментныя помѣщенія.

Фундаментъ каждой башни, какъ основа прочности и устойчивости сооруженія, представляетъ собою самую главную и ответственную часть всего сооруженія, почему на выборъ мѣста установки башни, свойства грунта и самую конструкцію фундамента строителями должно быть обращено особое вниманіе и должная осторожность. Ошибки, допущенныя при устройствѣ фундамента въ большинствѣ случаевъ трудно исправимы и вызываютъ весьма непріятныя послѣдствія во всѣхъ частяхъ сооруженія. Въ конструкцію каждаго фундамента обязательно должны входить устройства, предохраняющія его отъ подмыва водой, ибо течь трубъ и приборовъ не сразу можетъ быть замѣчена, а подмоченный фундаментъ трудно исправимъ.

Кромѣ собственнаго полнаго 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 полнаго вѣса воды въ резервуарѣ,—дѣйствительно:

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

$$P_0 = 6025 \text{ пудовъ.}$$

Полный вѣсъ воды, поддерживаемый башней въ резервуарѣ
 $P = 38512 \text{ пудовъ.}$

Называя коэффициентом легкости башни—отношеніе этихъ величинъ, имѣеть, что онъ для башни гор. Николаева равенъ

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

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

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

Столь малый коэффициентъ легкости $\mu = 1/6$,—для желѣзной башни Николаевского водопровода,—былъ достигнуть 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 малого коэффициента легкости. На винокуренномъ заводѣ Гивартовскаго, въ Москвѣ, желѣзная гиперболоидальная башня системы инж. В. Г. Шухова, вѣсомъ 1100 пудовъ, съ емкостью резервуара на 10,000 ведеръ имѣеть 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 полное 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 опрѣдѣлить съ точностью какъ качество грунта, его напластованія, толщину пластовъ и глубину промерзанія, такъ и способность грунта къ равномерному осѣданію подъ намѣченнымъ сооруженіемъ башни, что въ свою очередь опрѣдѣляетъ глубину заложенія, систему будущаго фундамента, его техническій расчетъ и стоимость.

Вполнѣ безопасная толщина пластовъ материка считается:

для глины	7—8 фут.
„ хряща	9—10 фут.
„ песка	11—12 фут.

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 —уголь естественнаго откоса грунта.

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

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

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 .

Г р у н т ы	d		Q	$\operatorname{tg} Q$
	Вѣсъ 1 куб. метра въ килогр.	Вѣсъ 1 куб. фута въ пудахъ		
Сухой глинистый	1500	2,6	40°—46°	0,84—1,04
Мокрый „	1900	3,3	20°—25°	0,36—0,47
Сухая глина	1600	2,8	40°—50°	0,84—1,19
Мокрая „	1980	3,4	20°—25°	0,36—0,47
Пловатый сырой	1650	2,9	30°	0,58
Песокъ, гравій сырой	1860	3,2	25°—30°	0,47—0,58
Щебень мокрый	1600	2,8	35°—40°	0,70—0,84
Вода	1000	1,7	0°	0

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

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. Общая высота фундамента 1,4 саж.

Въ Москвѣ—Крестовскія башни имѣютъ фундаментъ изъ слоя бетона толщиной 0,33 саж. и затѣмъ изъ кирпича желѣзняка, сложеннаго въ растворѣ: 1 часть портландскаго цемента и 3 части песка. Нагрузка на кирпичную кладку стѣнъ башень допущена не болѣе 2,7 пуда на 1 кв. дм. Общая высота фундамента 1,96 саж.

Въ Екатеринодарѣ—кирпичная башня съ резервуаромъ на 10000 ведеръ—имѣетъ фундаментъ толщиной въ $3\frac{1}{2}$ кирпича, а высотой 1,50 саж.

Желѣзные же башни, какъ наиболѣе легкія, имѣютъ фундаменты высотой отъ 2 арш. до 9 фут., напр.

На водопроводѣ въ гор. Черкассы—желѣзная башня системы инженера Шухова, съ резервуаромъ 20 тысячъ ведеръ, и высотой 33,73 метра, съ 40 стойками каркаса (гиперболоида) имѣетъ фундаментъ, состоящій изъ сплошнаго желѣзо-бетоннаго кольца толщиной въ 0,4 метра, при ширинѣ въ 1,4 метра, бутовой гранитной кладки надъ нимъ высотой въ 1 метръ, суживающейся уступами кверху и 20 кирпичныхъ столбовъ, высотой въ 1,45 метра. Число фундаментныхъ болтовъ 40 и нижніе концы ихъ закрѣплены шкворнями въ желѣзобетонной подушкѣ.

Въ Херсонѣ—желѣзная башня имѣетъ фундаментъ изъ мѣстнаго камня, высотой $2\frac{1}{2}$ арш.,—въ хорошемъ грунтѣ.

Въ Николаевѣ—желѣзная башня—фундаментъ высотой 8 футовъ.

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

На не очень крѣпкихъ грунтахъ—фундаменты башень 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.

Заслуживаютъ также вниманія желѣзно-бетонныя плиты съ простой или двойной желѣзной арматурой, въ зависимости отъ распредѣленія нагрузки.

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.	сан.
Очень плотный материкъ (скала)	24,50	"	"	"	"	"
Средній грунтъ (обыкновенная почва не содержащая ключей	1,25	"	"	"	"	"
Влажный моргель, глина	1,50	"	"	"	"	"
Песчаный гравій въ слояхъ ма- лой мощности	2,50	"	"	"	"	"

Что касается болѣе сложныхъ и исключительныхъ фундаментовъ, съ предварительной заготовкой особаго основанія, — ростверка, свайнаго или какаго-либо другого, то врядъ-ли инженерамъ строителямъ водоснабженій придется сталкиваться въ жизни съ подобными установками. Въ такихъ случаяхъ, при рыломъ, содержащимъ воду грунтѣ, при употребленіи свайнаго основанія или ростверка — давленіе возможно допускать не свыше 2 килогр. на 1 кв. сан., а при употребленіи, кромѣ того, бетоннаго слоя не менѣе 60 сант. толщиной — 3 килогр. на 1 кв. сан. Считаемо уместнымъ здѣсь упомянуть о весьма надежномъ способѣ укрѣпленія грунта бетонными сваями инженера А. Э. Странца — а именно: въ грунтъ вгоняются обыкновеннымъ буровымъ способомъ желѣзныя обсадныя трубы діам. отъ 6 дм. и болѣе до требуемой, по расчету нагрузки фундаментной подошвы, глубины; затѣмъ въ нижнюю часть обсадной трубы опускаютъ бетонъ, который сильно трамбуютъ и въ то же время медленно поднимаютъ трубу, при чемъ втрамбованный бетонъ заполняетъ образующуюся буровую скважину и слѣдовательно уплотняетъ собой окружающій грунтъ. Нагрузка на одну такую сваю можетъ до-

стигать 1500 пудовъ. Кромѣ этого способа—существуетъ другой способъ, укрѣпленія грунта, болѣе простой, а именно—помощью коническихъ бетонныхъ свай Штерна. Последнія образуются такимъ образомъ: обыкновенную деревянную сваю немного суживающуюся книзу, съ надѣтой на нее оболочкой изъ листового мягкаго желѣза, забиваютъ въ грунтъ, затѣмъ ее вынимаютъ, а въ оставшуюся въ грунтѣ—желѣзную оболочку набиваютъ бетонъ сильной трамбовкой. Этотъ бетонъ расширяетъ оболочку и свая палучается коническая. Этотъ способъ болѣе дешевый, такъ какъ большое сопротивленіе конической сваи въ грунтѣ, позволяетъ назначить по расчету меньшую длину, меньшій діаметръ сваи и слѣдовательно потребуется меньше матеріала.

Бетонныя сваи необходимо употреблять главнымъ образомъ при переменномъ горизонтѣ грунтовыхъ водъ. Прежде чѣмъ употреблять бетонныя или желѣзо-бетонныя сваи для уплотненія и укрѣпленія грунта подъ фундаментъ башни необходимо произвести повѣрочный расчетъ,—что выгоднѣе—свайная забивка или-же желѣзо-бетонная широкая „подошва-плита“ фундамента.

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, напри- мѣръ, въ Америкѣ въ г. Лексингтонѣ и въ г. Гинкастлѣ, гдѣ произошло крушеніе водонапорныхъ колоннъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда фундаментъ башни необходимо расположить очень близко къ какому-нибудь зданію, то для защиты фундамента зданія отъ разрушенія, слѣдуетъ прибѣгнуть къ устройству прочнаго шпунтового огражденія, деревяннаго или желѣзо-бетоннаго.

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

Въ случаѣ грунта съ почвенной водой, то послѣднюю удаляютъ помощью устройства specialнаго дренажа, а для случаевъ разрыва трубъ башни—лучше всего устраивать особыя фундаментныя камеры или галлереи, съ водонепроницаемыми стѣнками, какъ это будетъ показано далѣе на чертежахъ башенъ.

Послѣднія фундаментныя помѣщенія представляютъ возможность, для удобства и постоянного 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 галерея должна имѣть надлежащее число сливныхъ трубъ для отвода воды въ водостоки, ливнеспуски или коллекторы городской канализаціи.

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

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

Всѣ расходы на устройство водонепроницаемыхъ камеръ и галлерей съ избыткомъ окупаются при эксплуатаціи водопроводовъ, ибо открытая система башенныхъ трубъ и измѣрительныхъ приборовъ можетъ быть подвергаема ежедневному осмотру и своевременному ремонту.

Остовы желѣзныхъ башенныхъ установокъ.

При выборѣ остова, или каркаса, желѣзной башни, которые бываютъ самой разнообразной системы, приходится принимать во вниманіе всѣ тѣ усилія, которымъ должна подвергаться

выбранная конструкция, какъ-то: собственный вѣсъ остова, давление вѣтра, нагрузка самого резервуара, вѣсъ воды въ резервуарѣ, термическія усилія и пр. На расчетъ прочности и устойчивости конструкции безусловно оказываетъ большое вліяніе высота башни и способъ установки резервуара. Всѣ эти данныя строителемъ должны быть скомбинированы и провѣрены техническимъ подсчетомъ такъ, чтобы при наименьшей затратѣ строительнаго капитала возможно было получить наивыгоднѣйшую конструкцию.

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

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

а) наибольшей высоты дома,

б) высоты потеряннаго напора при движеніи воды въ домовой сѣти, равной не болѣе 15 футъ водяного столба и

с) высоты въ 10 футъ водяного столба—для образованія полезной скорости истеченія и на другія вредныя сопротивленія.

Для опредѣленія высоты H —расположенія резервуара башни составляется цѣлый рядъ уравненій по закону Д. Бернулли,—для нѣсколькихъ пунктовъ водопроводной сѣти 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, выразенный 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 рассматри-
 ваемаго пункта сѣти.

Что касается емкости резервуара, то зависимость количе-
 ства воды въ резервуарѣ отъ разбора ея въ городской сѣти—
 будетъ рассмотрѣна 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 чу-
 гунное кольцо. Въ верхней части колонны связываются вѣнчаю-
 щимъ кольцомъ, служащимъ въ то же время базой для резервуара.

Такъ какъ помимо расчета на опрокидываніе отъ силы вѣтра
 при незаполненномъ водою резервуарѣ, колонны рассчитываются и
 при полной нагрузкѣ на продольный изгибъ по фор. Эйлера или
 Шварца, то желательнo этотъ простой типъ башенной установ-
 ки употреблять при незначительной высотѣ колоннъ и для не-
 большихъ водоемовъ. Это обстоятельство подтверждается под-
 счетомъ на основаніи фор. Эйлера;—дѣйствительно, грузъ, ко-
 торый можетъ выдержать цѣльно-отлитая колонна не сгибаясь—
 обратно пропорціоналенъ квадрату ея свободной длины, а пото-
 му быстро уменьшается при возрастаніи этой длины; скрѣпленіе-
 же массивныхъ колоннъ частыми горизонтальными кольцами—
 слишкомъ дорого.

Подобная башенная установка въ Россіи имѣется на водо-
 проводѣ въ Армавирѣ, гдѣ чугунныя колонны высотой 6 саж. под-
 держиваютъ резервуаръ емкостью въ 10000 ведеръ.

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

Въ планѣ фермы башенъ устанавливаются радіально; на-
 ружное-же очертаніе плана имѣетъ видъ квадрата или много-
 угольниковъ. По высотѣ фермы связываются вѣтровыми связями.

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

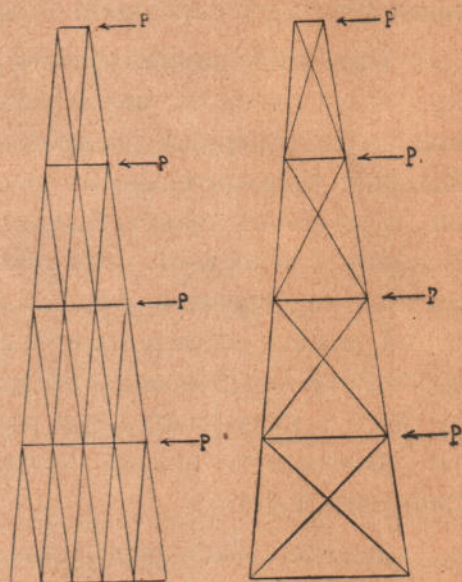
Существуютъ также башенныя установки, остовы которыхъ собраны изъ ряда желѣзныхъ конусовъ, склепанныхъ изъ котельнаго листового желѣза, безъ всякаго внутренняго устройства, каркаса, и колецъ жесткости, напр. желѣзная башня въ Гродзецѣ, высотой до цилиндрической части резервуара 22,9 метра.

Всѣ вышепоименованныя конструкціи, какъ болѣе сложныя для сборки и болѣе тяжелыя—вытѣсняются въ рѣдкихъ случаяхъ желѣзо-бетонными и чаще всего остроумными гиперболическими башнями системы 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 усилій, вызываемыхъ въ частяхъ фермъ на ихъ длину—будетъ для фиг. 1-й—сѣтчатой, меньше, чѣмъ для фиг. 2-й, слѣдовательно система 1-я должна быть легче системы 2-й.

Подъ вліяніемъ же вертикальной нагрузки стойки фермъ обѣихъ системъ будутъ напрягаться одинаково. Переходя отъ этихъ фермъ къ соотвѣтствующимъ башнямъ—можно сказать, что въ сѣтчатой гиперболической башнѣ сумма произведеній усилій 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 осу-



Фиг. 1-я

Фиг. 2-я

ществование гйберболоидальных 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 башни требуютъ болѣе точной размѣтки дыръ заклепочныхъ соединеній ея отдѣльныхъ частей. Хлопотливая размѣтка ихъ вознаграждается чрезвычайно скорой сборкой всей башни на мѣстѣ. Эти основныя преимущества конструкции 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—изготавливающему ихъ, за 20 лѣтъ поставить въ разныхъ мѣстностяхъ 30 башенъ *) съ резервуарами отъ 1000 до 100 тысячъ ведеръ и два желѣзныхъ маяка, Станиславъ-Аджигольскихъ, подъ Херсономъ,—одинъ высотою 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 башенъ.

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

*) За послѣдніе 5 лѣтъ 1912—1916 г. свыше 15 башенъ.

ствующихъ водоснабженій городовъ—емкость водонапорныхъ резервуаровъ возможно находить изъ слѣдующихъ формулъ:

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

гдѣ Q —среднее суточное количество 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 регулировании 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, обыкновенно равное среднему суточному лѣтнему разбору; причеиъ каждая насосная станція обязательно должна имѣть резервные насосы.

Полезныя емкости уравнительныхъ резервуаровъ обыкновенно составляютъ отъ $0,15.Q$ до $0,25.Q$.

Въ водопроводахъ, безъ машинъ, т. е. самоточныхъ, емкость запаснаго резервуара должна быть не менѣе $1,5Q$.

Такимъ образомъ для городовъ, съ расчетнымъ населеніемъ до 200 тысячъ человекъ—возможно при расчетахъ водопроводовъ принимать полезную емкость уравнительныхъ водоемовъ по слѣд. формулъ: $V = \text{отъ } 0,15.Q \text{ до } 0,25.Q$.

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

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

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

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

Конструкціи резервуаровъ бываютъ самыя разнообразныя, съ особыми формами стѣнокъ и днищъ. Рациональной фармой резервуара признается несомнѣнно форма цилиндра съ круговой направляющей и отъ резервуаровъ съ прямоугольнымъ плоскимъ днищемъ, вслѣдствіе ничтожнаго сопротивленія стѣнокъ, и дорогой установки на балкахъ современные инженеры совершенно отказались. Матеріаломъ для резервуаровъ служатъ сварочное или литое желѣзо.

Задаваясь при проектированіи полезнымъ объемомъ резервуара, необходимо стремиться получить его самыхъ невыгоднѣйшихъ размѣровъ, т. е. при наименьшей затратѣ желѣза. Для цилиндрическаго резервуара съ плоскимъ днищемъ наиблагороднѣйшіе размѣры опредѣляются слѣдующимъ способомъ:

Пусть h и D высота и діаметръ резервуара, тогда полная поверхность резервуара будетъ,—

$$a) \dots S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} + \pi \cdot D \cdot h.$$

причемъ имѣемъ условіе

$$b) \dots \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = V = \text{const}$$

Рѣшая эти два уравненія, получимъ

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} + \frac{4 \cdot V}{D}$$

Дифференцируя это уравнение, получимъ

$$\frac{\partial S}{\partial D} = \frac{\pi \cdot D}{2} - \frac{4 \cdot V}{D^2}$$

Эту первую производную приравняемъ нулю и находимъ что,

$$\frac{\pi \cdot D}{2} - \frac{4 \cdot V}{D^2} = 0$$

$$\text{или } D = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}} = 1,366 \sqrt[3]{V},$$

$$\text{а изъ уравненія (в) находимъ } h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \text{ или } = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}} = \frac{D}{2}$$

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

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

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

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

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

гдѣ r — радіусъ резервуара и

p — давленіе на кв. единицу площади.

Дѣйствительно.

$$\begin{aligned} S &= \int_0^\pi dS \cdot p \cdot \sin \alpha = p \int_0^\pi dS \sin \alpha = \\ &= p \int_0^\pi r \sin \alpha \, d\alpha = 2 p \cdot r. \end{aligned}$$

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

Далѣ, если обозначимъ, что

R —будетъ допускаемое на кв. единицу площади разсматриваемаго сѣченія напряжение матеріала (800—1200 клгр. на 1 кв. сан.) и δ —толщина стѣнки резервуара, высотой въ единицу, то можемъ написать зависимость

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

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

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

Подставляя, вмѣсто p —его значеніе $p=h. A. l.$

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

A —вѣсь куб. единицы воды)

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

$$\delta = \frac{h. A. l. r}{R. l} = \frac{A. h. r}{R}$$

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

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

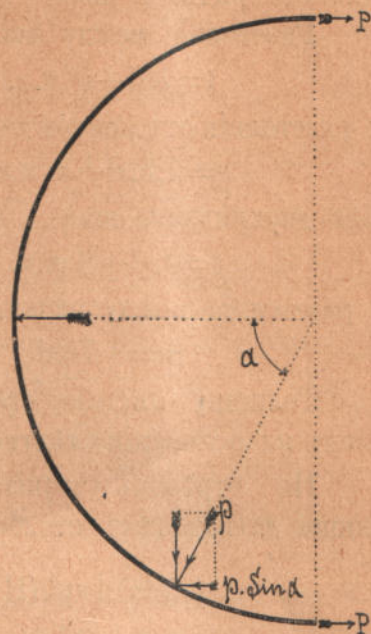
Если r, h —въ метрахъ

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

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

Склепываніе листовъ резервуара производится въ нахлестку ~~с~~поряднымъ или двухряднымъ швомъ, при діаметрѣ заклепки

$$d = \delta + 7 \text{ м.м.}$$



Фиг. 3.

Для однорядного шва:

Разстояніе между заклепками

$$t = 3.d + 5 \text{ м.м.}$$

и разстояніе отъ центра до края листа

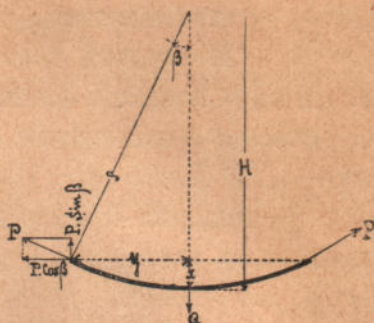
$$e = 1.5.d + 3 \text{ м.м.}$$

Для двухрядного шва

$$t = 4.d + 8 \text{ м.м.,}$$

а разстояніе между рядами

$$e_1 = 1.75.d$$



Фиг. 4.

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

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

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

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

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

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

Откуда:

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

или:

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

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

$$\delta_0 = \frac{P_{\max}}{R} = \frac{\Delta \cdot \rho \cdot H}{2 R}$$

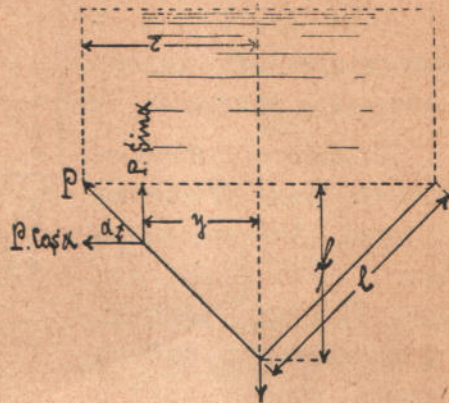
Прибавляя на износъ δ_1 отъ 3—5 м.м.

$$\delta_0 = \frac{\Delta \cdot \rho \cdot H}{2 R} + \delta_1.$$

R_{\min} —получается при $x = \rho$.
т. е. для шаровиднаго дна когда
и $y = \rho$. Дѣйствительно въ этомъ
случаѣ.

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

Для коническаго днища мо-
жемъ написать на основаніи пре-
дыдущихъ 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
$$P = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot y \cdot \sin \alpha} = \frac{\Delta \cdot y}{2 \cdot \sin \alpha} \cdot (H - \frac{2}{3} x)$$

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

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

Напряженіе же по кольцу у начала днища найдемъ изъ урав-
ненія $2 \cdot \pi \cdot y \cdot K \cdot \sin \alpha = \pi y^2 \Delta \cdot (H - x)$, 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 продол-
жить до опоры А, или опоры (А) приблизить къ вершинѣ, то
вмѣсто растягивающихъ усилій Р, получатся сжимающія уси-

для P_1 (Фиг. 6), величина которыхъ опредѣляется изъ уравненія:

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

гдѣ Q_1 —вѣсъ воды въ наружной части резервуара. Величина P_1 —зависитъ также отъ уклона конического днища.

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

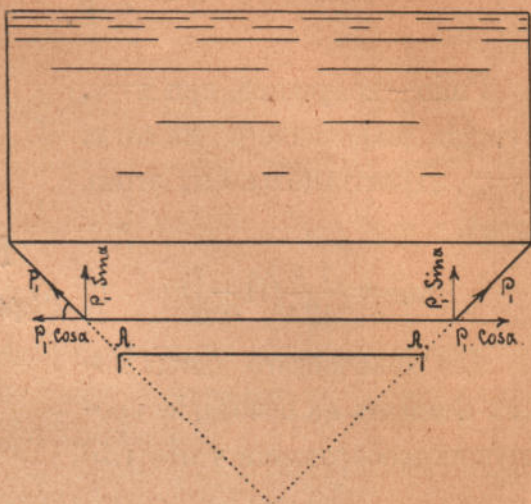
въ точкахъ сѣченія этихъ плоскостей въ опорномъ кольцѣ совершенно уничтожаются силы, дѣйствующія въ горизонтальномъ направленіи (распоръ). Поэтому опорное кольцо передаетъ только вертикально дѣйствующія силы и вслѣдствіе этого

можетъ быть изготовлено сравнительно изъ меньшаго количества матеріала.

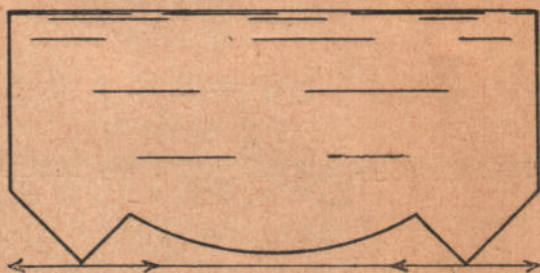
Наполненъ-ли резервуаръ водой или нѣтъ—діаметръ опорнаго кольца не измѣняется, а поэтому и кольцо не измѣняетъ своего положенія. Исходящія изъ опорнаго кольца части днища—наклонныя и открытыя, поэтому резервуаръ доступенъ со всѣхъ сторонъ, для осмотра, окраски, ремонта и проч.

Уголь, между наклонной частью днища и горизонталью 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



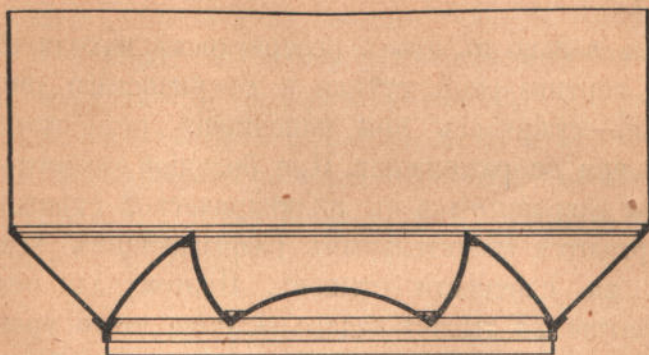
Фиг. 6.



Фиг. 7.

сегментъ и конусъ занимають 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.

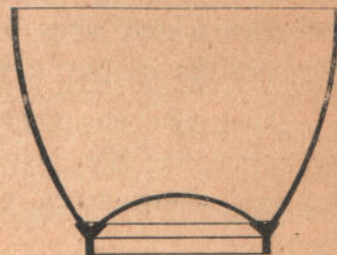


Фиг. 8.

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 послѣдствіи стремились конструкторы придать резервуарамъ другія формы, какъ напр. на фиг. 9.

Цѣль устройства такого резервуара заключалась главнымъ образомъ въ томъ, чтобы возможно было наиболѣе выгодно использовать пространство опорнаго кольца и наиболѣе удобно устраивать угловыя соединенія скрѣпленной 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 теперь устраиваютъ только для небольшихъ

резервуаровъ—емкостью до 10 тысячъ ведеръ и весьма рѣдко.

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 опоражниваніи. При большой емкости—заклепки, соединяющія закраины дна съ цилиндрической стѣнкой резервуара—подвергаются значительнымъ разрывающимъ усилямъ, что отражается 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.

При составленіи предварительныхъ смѣтъ на устройство резервуаровъ башенъ является необходимымъ знать приблизительный вѣсъ ихъ, такъ какъ обыкновенно окончательная стоимость резервуаровъ, изготовляемыхъ заводами, подсчитывается по ихъ дѣйствительному вѣсу и потомъ набрасывается тотъ или другой процентъ на сборку и установку на мѣсто.

Практика водопроводнаго дѣла указываетъ съ достаточной точностью, что вѣсъ исполненныхъ цилиндрическихъ водяныхъ желѣзныхъ клепанныхъ резервуаровъ составляетъ на объемъ 100 ведеръ

а) При ровныхъ днищахъ

отъ 3,5 до 6,5 пудовъ—или въ среднемъ около 5 пудовъ.

в) При опорныхъ и обратныхъ днищахъ

отъ 3 до 5 пудовъ—или въ среднемъ около 4 пудовъ.

Желѣзные резервуары необходимо предохранять отъ ржавленія. Всякое желѣзо, какъ извѣстно, покрывается ржавчиной и слѣдовательно разрушается отъ совмѣстнаго дѣйствія воздуха и воды и особенно сильно—отъ дѣйствія кислотъ и соляныхъ

растворовъ. Предохранительной мѣрой отъ окисленія (ржавленія) служить обыкновенно покрытіе металлической поверхности резервуаровъ масляными красками, напримѣръ—свинцовымъ сурикомъ, приготовленнымъ на хорошемъ маслѣ (олифа). Къ сожальнiю подобная окраска весьма недолговѣчна и ее приходится возобновлять ежегодно. Пробы—покрытія желѣзныхъ поверхностей другими элементами, напр. известью, графитомъ, цементомъ и т. п.—не дали надежныхъ результатовъ и въ настоящее время весьма хорошимъ средствомъ можно считать только такъ наз. „преолиты“.—асфальтовые лаки, накладываемые на тщательно очищенную поверхность резервуара вначалѣ въ разведенномъ видѣ, а затѣмъ уже густымъ слоемъ толщиной не менѣ одного миллиметра. Асфальтовое покрытіе—весьма прочно и оно не только противостоитъ дѣйствію воды и воздуха, но также разведенныхъ кислотъ и солей.

Всегда нужно помнить, что своевременное предохраненіе желѣзныхъ резервуаровъ отъ ржавленія—сохранить ихъ на нѣсколько десятковъ лѣтъ и болѣе.

Теперь остается рассмотреть 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 категории: рѣчные 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 впродолженіи всего года. Такъ, напримѣръ,

Полтава	+	17°	по Цельсію, (артез. вода).
Кіевъ	+	11°	„ „ „
Николаевъ	+	13°	„ (подпочв. вода)
Рязань	+	7°	„ „ „
Ѳеодосія	+	4°	„ (ключевая вода)

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. Холодные-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 воды самого резервуара. Слѣдовательно, въ уравнительномъ резервуарѣ, при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, вода замерзнетъ скорѣе, чѣмъ въ водонапорномъ.

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

Обшивки резервуаровъ большею частью дѣлаютъ въ видѣ павильоновъ—собранныхъ изъ деревяннаго каркаса, обшитаго двумя или тремя рядами досокъ съ прокладкой изъ асфальтоваго толя, при чемъ между стѣнкой обшивки и стѣнкой резервуара должно быть разстояніе не менѣе 13 вершковъ—для свободнаго прохода человѣка. Иногда деревянные стѣнки павильона обшиваютъ однимъ или нѣсколькими рядами войлока, съ прокладкой хмѣля отъ моли. Войлокъ покрываютъ 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 большой выгодой, по сравненію съ существующими, большей частью незатѣливой архитектуры, каменными башнями, устраивать желѣзные вышки съ

резервуарами въ полутеплыхъ, желѣзо-бетонныхъ, обшивочныхъ павильонахъ.

Заканчивая настоящую главу—ниже прилагаемъ для необходимыхъ проектныхъ подсчетовъ таблицу емкости цилиндрическихъ резервуаровъ, въ которой числа, выражающія площади въ кв. фут. одновременно даютъ объемы слоя воды, высотой въ 1 фут., въ куб. футахъ; а также таблицы резервуаровъ Инце и Баркгаузена

Диаметръ фут. дюйм.		Площадь въ кв. футахъ	Емкость слоя высот. 1 фут. въ ведрахъ	Диаметръ фут. дюйм.		Площадь въ кв. футахъ	Емкость слоя высот. 1 фут. въ ведрахъ
1		0.785	1.81	3	6	9.621	22.15
1	1	0.922	2.12	3	7	10.085	23.22
1	2	1.069	2.46	3	8	10.559	24.31
1	3	1.227	2.82	3	9	11.045	25.43
1	4	1.396	3.21	3	10	11.541	26.57
1	5	1.576	3.63	3	11	12.048	27.73
1	6	1.767	4.07	4		12.566	28.93
1	7	1.969	4.53	4	1	13.095	30.14
1	8	2.182	5.02	4	2	13.635	31.39
1	9	2.405	5.54	4	3	14.186	32.66
1	10	2.640	6.08	4	4	14.748	33.95
1	11	2.885	6.64	4	5	15.321	35.27
2		3.142	7.23	4	6	15.900	36.60
2	1	3.409	7.85	4	7	16.50	38.00
2	2	3.687	8.49	4	8	17.10	39.4
2	3	3.976	9.15	4	9	17.72	40.8
2	4	4.276	9.84	4	10	18.35	42.2
2	5	4.587	10.56	4	11	18.99	43.7
2	6	4.909	11.30	5		19.63	45.2
2	7	5.241	12.06	5	1	20.29	46.7
2	8	5.585	12.86	5	2	20.97	48.3
2	9	5.940	13.67	5	3	21.65	49.8
2	10	6.305	14.51	5	4	22.34	51.4
2	11	6.681	15.38	5	5	23.04	53.0
3		7.069	16.27	5	6	23.76	54.7
3	1	7.467	17.19	5	7	24.48	56.3
3	2	7.876	18.13	5	8	25.22	58.1
3	3	8.296	19.10	5	9	25.97	59.8
3	4	8.727	20.09	5	10	26.73	61.5
3	5	9.168	21.10	5	11	27.49	63.3

Диаметръ		Площадь въ кв. футахъ	Емкость слоя высот. 1 фут. въ вадрахъ	Диаметръ		Площадь въ кв. футахъ	Емкость слоя высот. 1 фут. въ вадрахъ
фут.	дюйм.			фут.	дюйм.		
6		28.27	65.1	15	9	194.83	448.5
6	3	30.68	70.6	16		201.06	462.8
6	6	33.18	76.4	16	3	207.39	477.4
6	9	35.78	82.4	16	6	213.82	492.2
7		38.48	88.6	16	9	220.35	507.2
7	3	41.28	95.0	17		226.98	522.5
7	6	44.18	101.7	17	3	233.71	538.0
7	9	47.17	108.6	17	6	240.53	553.7
8		50.27	115.7	17	9	247.45	569.6
8	3	53.46	123.1	18		254.47	585.8
8	6	56.75	130.6	18	3	261.59	602.2
8	9	60.13	138.4	18	6	268.80	618.8
9		63.62	145.5	18	9	276.12	635.6
9	3	67.20	154.7	19		283.53	652.7
9	6	70.88	163.2	19	3	291.04	670.0
9	9	74.66	171.9	19	6	298.65	687.5
10		78.54	180.8	19	9	306.35	705.2
10	3	82.52	190.0	20		314.16	723.2
10	6	86.59	199.3	20	3	322.06	741.4
10	9	90.76	208.9	20	6	330.06	759.8
11		95.03	218.8	20	9	338.16	778.4
11	3	99.40	228.8	21		346.36	797.3
11	6	103.87	239.1	21	3	354.66	816.4
11	9	108.43	249.6	21	6	363.05	835.7
12		113.10	260.4	21	9	371.54	855.3
12	3	117.86	271.3	22		380.13	875.1
12	6	122.72	282.5	22	3	388.82	895.1
12	9	127.68	293.9	22	6	397.61	915.3
13		132.73	305.5	22	9	406.49	935.7
13	3	137.89	317.4	23		415.48	956.4
13	6	143.14	329.5	23	3	424.56	977.3
13	9	148.49	341.8	23	6	433.74	998.5
14		153.94	354.4	23	9	443.01	1019.8
14	3	159.48	367.1	24		452.39	1041.4
14	6	165.13	380.1	24	3	461.86	1063.2
14	9	170.87	393.3	24	6	471.44	1085.2
15		176.71	406.8	24	9	481.11	1107.5
15	3	182.65	420.5	25		490.87	1130.0
15	6	188.69	434.4	25	3	500.74	1152.7

Диаметръ		Площадь въ кв. футахъ	Емкость слоя высот. 1 фут. въ ведрахъ	Диаметръ		Площадь въ кв. футахъ	Емкость слоя высот. 1 фут. въ ведрахъ
фут.	дюйм.			фут.	дюйм.		
25	6	510.71	1175.6	29	3	671.96	1547
25	9	520.77	1198.8	29	6	683.49	1573
26		530.93	1222.2	29	9	695.13	1600
26	3	541.19	1245.8	30		706.86	1627
26	6	551.55	1269.7	30	3	718.69	1654
26	9	562.00	1293.7	30	6	730.62	1682
27		572.56	1318	30	9	742.64	1710
27	3	583.21	1342	31		754.77	1737
27	6	593.96	1367	31	3	766.99	1766
27	9	604.81	1392	31	6	779.31	1794
28		615.75	1417	31	9	791.73	1823
28	3	626.80	1443	32		804.25	1851
28	6	637.94	1468	32	3	816.86	1880
28	9	649.18	1494	32	6	829.58	1910
29		660.52	1520	32	9	842.39	1939

Таблица резервуаровъ системы Баркгаузена.

Резервуарами Баркгаузена наз. цилиндрическіе резервуары съ полусферовымъ днищемъ.

V . . .	10	35	50	75	100	300	400	500	600	куб. метр.
r . . .	1.34	2.03	2.29	2.62	3.3	4.15	4.57	4.92	5.23	метр.
H . . .	0.89	1.36	1.53	1.75	2.2	2.77	3.05	3.28	3.49	метр.
δ_1 . . .	5	5	5	5	5	6	6	6	6	миллиметр.
δ_2 . . .	5	5	5.6	5.6	6.7	7.8	7.8	7.8	7.8	миллиметр.
P . . .	24.4	85.4	122	183	366	732	976	1220	1464	пудовъ.

Въ этой таблицѣ: V—емкость. r—радіусъ днища. H—высота цилиндрической части резервуара. δ_1 —толщина листовъ цилиндрической части, δ_2 —толщина листовъ днища, P—вѣсъ резервуара.

Таблица резервуаровъ системы Инце.

Здѣсь приводятся основные размѣры часто встрѣчающагося на практикѣ типа резервуара Инце,—какъ на фиг. 12,—только безъ верхней конусной части.

V	10	30	50	100	150	300	400	500	600	куб. метр.
D	3.0	3.8	5.0	6.6	7.0	9.0	10.0	11.0	11.0	метр.
H	1.4	2.7	2.4	2.9	3.7	4.4	4.6	5.0	6.0	»
D ₁	2.0	2.5	3.3	4.6	4.6	7.0	8.0	8.0	8.0	»
d	0.6	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	»
h	0.5	0.65	0.85	1.0	1.2	1.25	1.35	1.5	1.5	»
r	1.75	1.75	3.0	4.0	4.0	5.0	5.2	5.5	5.5	»
δ	5	5	5	5	5	6	6	6	6	миллиметр.
δ ₁	5	5	5	6	6	7	7	8	8	»
δ ₂	5	5	6	7	7	8	8	8	9	»
δ ₃	5	5	5	5	5	6	6	6	6	»
P	30.5	91.5	153	305	458	915	1220	1525	1830	пудовъ.

Въ этой таблицѣ: V—емкость, D, H—диаметръ и высота цилиндрической части, D₁—диаметръ нижняго усѣченного конуса (опорнаго кольца резервуара), d—диаметръ центральной горловины, гдѣ помѣщена лѣстница (см. фиг. № 12), h—высота нижняго конуса, r—радіусъ днища; толщина листовъ: δ—цилиндрической части, δ₁—конуса, δ₂—днища, δ₃—горловины. P.—вѣсъ резервуара.

Оборудованіе башень.

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, способствующіе правильной ея эксплуатаціи. Ту и другую группу оборудованія разсмотримъ болѣе подробно.

Для водонапорнаго резервуара башни—устанавливаютъ двѣ главныхъ трубы: нагнетательную, съ водоизливнымъ отверстіемъ

у наивысшаго уровня воды въ резервуарѣ—для постоянства напора *) подъ которымъ работаютъ насосы и разводящую, устье которой открывается у дна резервуара, возвышаясь надъ его глубокой точкой только на высоту въ 3—5 дм. для предохраненія попаданія 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 служить одновременно для нагнетанія воды и для отвода ея въ сѣть города.

Въ первомъ случаѣ диаметръ 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 —диаметръ трубы въ футахъ.

v —скорость воды 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.) диаметръ нагнетательной трубы будетъ

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

Разводящая-же труба 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,

*) 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.

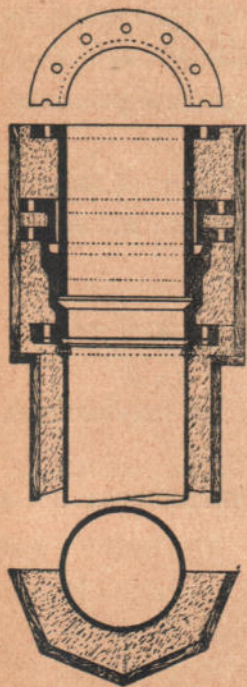
t —число часовъ, въ которые разборъ воды болѣе средняго часового.

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

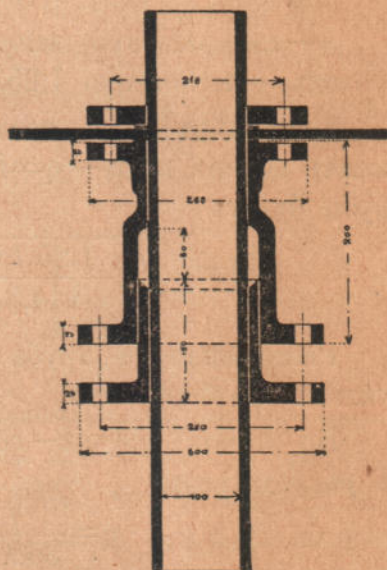
Нагнетательныя и разводящія желѣзныя трубы, подѣ резервуаромъ, устанавливаются вертикально и прочно укрѣпляются къ его днищу. Въ случаѣ деформации днища резервуара и желѣзнаго остова башни, отъ измѣненія температуры ихъ матеріала и нагрузки, для предупрежденія разстройства плотности стыковъ трубъ, послѣднія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



Фиг. 10.



Фиг. 11

нихъ, діам. 12 дм., (фиг. 10) показанъ въ обмуровкѣ изоляціоннаго покрова, состоящаго изъ пробковой массы, прилегающей

непосредственно къ сальнику и трубѣ и изъ деревянной наружной обшивки.

Иногда употребляются для этой-же цѣли, сравнительно недорогіе компенсаторы, въ видѣ двухъ выпуклыхъ мѣдныхъ тарелокъ или дисковъ, (см. фиг. 12—въстовую трубу башни). Большею частью эти диски изготовляютъ, изъ экономическихъ соображеній, изъ желѣза, а поэтому для трубъ большого діаметра и большой длины они получаются большими, что заставляеть 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 подъ днищемъ резервуара, что затрудняетъ осмотръ и его ремонтъ. Въ виду этихъ соображеній, дисковые компенсаторы устанавливаютъ на общихъ трубахъ небольшого діаметра въ уравнивательныхъ башняхъ.

Всѣ трубы башни, кромѣ сигнальной, должны быть оборудованы винтовыми задвижками, въ достаточномъ количествѣ и по возможности въ одномъ мѣстѣ, т. е. недалеко другъ отъ друга. Обыкновенно эти задвижки, какъ и другіе приборы размѣщаются въ просторной фундаментной камерѣ или такъ наз. галлерей.

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^о. (описание смотр. далѣе — „башня Николаевского водопровода“), новый приборъ „Le contrôle de la hauteur d'eau à distance—Otto—P. Postel—Vinay—Carpentier“ и др.

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

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

3) Приборы для автоматическаго переключенія крановъ, соединяющихъ верхній резервуаръ башни съ городской сѣтью; напримѣръ одинъ изъ подобныхъ приборовъ установленъ въ Birmingham въ Америкѣ, а именно:—электрической пожарной сигналъ автоматически освобождаетъ желѣзный двуплечій рычагъ, который при помощи противовѣса поворачивается надлежащимъ образомъ около своей оси и въ то-же время открываетъ кранъ, сообщающій противопожарный резервуаръ, вышаго напора, съ разводящей сѣтью города.

4) Приборы, автоматически закрывающіе разводящую трубу водонапорной башни въ тотъ моментъ, когда въ послѣдней, вслѣдствіе разрыва трубы большого діаметра въ сѣти города, образуется большая скорость движенія воды. Подобные приборы должны устанавливаться главнымъ образомъ тамъ, гдѣ питьевая вода дорога и гдѣ ее мало, ибо неожиданная потеря ее изъ запаснаго резервуара въ большомъ количествѣ можетъ вызвать длительный перерывъ водоснабженія всего города.

Одинъ изъ такихъ приборовъ былъ проектированъ извѣстнымъ инженеромъ М. И. Алтуховымъ, для водопровода гор. Θεодосіи (*). Въ главнѣйшихъ чертахъ этотъ приборъ (автоматическій кранъ) представляетъ собою обыкновенную чугунную трубу, діаметра въ 12 дм., соединенную при помощи фланцевыхъ переходовъ съ разводящей 8 дм. трубой. Въ этой трубѣ, на центральной горизонтальной оси укрѣпленъ круглый поворотный дискъ, діаметръ коего тоже 12 дм., такъ, что при своемъ вертикальномъ положеніи, этотъ дискъ можетъ почти совершенно плотно закрывать трубу и останавливать такимъ образомъ движеніе по ней воды, а при своемъ горизонтальномъ положеніи онъ нисколько не стѣсняетъ свободнаго движенія воды по трубѣ. На оси этого диска, съ наружной стороны трубы, насаженъ наглухо шкивъ, могущій поворачиваться на 90° подъ дѣйствіемъ груза, висящаго на цѣпи, обхватывающей шкивъ. При нормальномъ положеніи прибора, т. е. когда дискъ находится въ горизонтальномъ положеніи и вода свободно протекаетъ черезъ приборъ (кранъ), шкивъ не можетъ повернуться отъ дѣйствія груза

*) См. стр. 32 «Описаніе устройствъ проектированнаго водоснабженія въ г. Θεодосіи М. И. Алтухова». 1885 г.

потому, что онъ удерживается въ своемъ нормальномъ положеніи рычагомъ, зацѣпляющимся за шпинецъ на ободѣ шкива. Рычагъ-же, при помощи стержня и другого рычага, соединенъ съ небольшою квадратною пластинкой, поставленною въ кранѣ перпендикулярно движенію воды, давленіе которой на нее уравнивается наружнымъ грузомъ. При нормальномъ разборѣ воды, а слѣдовательно нормальной скорости ея движенія,—всѣ отдѣльныя части крана такимъ образомъ взаимно уравновѣшаны и вода свободно протекаетъ черезъ кранъ.

Въ случаѣ разрыва трубы, вода должна будетъ весьма быстро устремиться изъ резервуара въ мѣсто разрыва; вслѣдствіе этого быстрого движенія воды, послѣдняя сильно нажметъ на пластинку, которая отъ этого нѣсколько перемѣстится назадъ, отчего рычагъ опустится немного книзу, выйдетъ вонъ изъ сцѣпленія со шпинекомъ, и тогда шкивъ, незадерживаемый болѣе ничѣмъ, невольно повернется на 90° подѣ дѣйствіемъ тяжелаго груза и тѣмъ самымъ повернетъ и дискъ, поставивъ его изъ горизонтальнаго положенія въ вертикальное, что обусловитъ собою закрытіе такимъ образомъ трубы и, слѣдовательно, приостановку движенія по ней воды. Послѣ принятія соответствующихъ мѣръ въ мѣстѣ разрыва, рабочій долженъ будетъ повернуть назадъ шкивъ, черезъ что дискъ опять приметъ свое нормальное горизонтальное положеніе, открывъ такимъ образомъ свободное движеніе воды по трубѣ; а зацѣпивъ палецъ рычага за шпинецъ, рабочій снова приготовитъ этимъ весь приборъ къ дѣйствию на случай новаго поврежденія трубы.

б) Разные приборы, какъ-то: электрическіе пожарные сигнализаторы, телефоны, манометры, часы, гидрометры, термометры въ трубопроводахъ и пр.

Кромѣ этого резервуары башенъ должны имѣть хорошую вентиляцію и громоотводъ.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инце—полезной емкости на 65 тысячъ ведеръ воды и съ водонепроницаемой фундаментной галлереей *).

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

Для того чтобы равнодѣйствующая R опорныхъ давленій отъ составляющихъ ея силъ давленія воды въ сферической части днища F_1 и въ конической— F_2 —проходила строго вертикально, 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 F_1 находится изъ уравненія

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

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

d —діаметръ опорнаго кольца резервуара.

Сила F_2 —точно также находится изъ уравненія:

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

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

то $D_2 + d_2 = d_2$

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

Принимаемъ $d = 26$ ф.

Радиусъ сферическаго днища выбираемъ равнымъ $R = 18,5$ футъ для того, чтобы уголъ между конической поверхностью и

*) 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 повторовъ. Въ противномъ случаѣ этотъ трудъ получился-бы слишкомъ большимъ.

сферической былъ въ 90° ,—для удобства и прочности склепки 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:

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} h_1 + \frac{1}{3} \pi h_0 \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D \cdot d}{2} + \frac{d^2}{4} \right) - \\ &- \frac{1}{3} \pi \cdot h_0^2 \cdot (3 \cdot R - h_0) - h_1 \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 37^2 \cdot 20}{4} + \\ &+ \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 5,5 \left(\frac{37 \cdot 37}{4} + \frac{37 \cdot 26}{4} + \frac{26 \cdot 26}{4} \right) - \\ &- \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 5,5 \cdot 5,5 \cdot (3 \cdot 18,5 - 5,5) - \frac{20 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 3,5}{4} \\ &= 21493,3 + 4327,57 - 1583,08 - 192,32 = \\ &= 24045,47 \text{ куб. фут.} = 55352,67 \text{ вед.} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_1 \text{ полез.} &= 21300,98 + \frac{1}{3} \pi \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D \cdot d_0}{2} + \frac{d_0^2}{4} \right) \\ &- \frac{1}{3} \pi \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot (3 \cdot 18,5 - 1,5) = 21300,98 + \\ &+ 3,14 \cdot 0,5 \left(\frac{37 \cdot 37}{4} + \frac{37 \cdot 34}{2} + \frac{34 \cdot 34}{4} \right) - 3,14 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 54 = \\ &= 21300,98 + 1484,82 - 127,17 = 22658,63 \text{ куб. ф.} = \\ &= 52160,16 \text{ ведеръ.} \end{aligned}$$

Для того, чтобы получить объемъ резервуара полезной емкостью въ 65000 ведеръ и чтобы уменьшить силу давленія вѣтра на боковую поверхность большого 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:

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi \cdot h_2 \left[\frac{D^2}{4} + \frac{D}{2} \left(\frac{D - 2 h_2}{2} \right) + \frac{(D - 2 h_2)^2}{4} \right] - \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot h_2 =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 9,25 \left(\frac{37 \cdot 37}{4} + \frac{37}{2} \cdot \frac{18,5}{2} + \frac{18,5 \cdot 18,5}{4} \right) -$$

$$- \frac{3,14 \cdot 3,5 \cdot 3,5 \cdot 9,25}{4} = 5709,76 \text{ куб. ф.} = 13143,86 \text{ ведеръ.}$$

Полезный объемъ всего резервуара:

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

Допуская, что внутреннія скрѣпленія резервуара, горизонтальная внутренняя площадка, лѣстница и трубы вытѣсняють 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. 37) 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 разматриваемой части,

1,72 пуда—вѣсъ 1 куб. ф. воды,

r —радіусъ рассчитываемой 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 $\delta_2 = \frac{3}{16}$

3. Второй пояс:

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

принято $\delta_3 = 7/32 \text{ дм.}$

4. Третий пояс:

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

принято $\delta_4 = 1/4 \text{ дм.}$

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 $h = 29,25$).

$$\delta_8 = \frac{A \cdot h \cdot R}{2 \cdot 12 \cdot R_1} + \delta_0 = \frac{1,72 \cdot 29,25 \cdot 9,25}{12.395} + 0,13 = 0,23 \text{ дм.}$$

принято $\delta_8 = 1/4 \text{ дм.}$

Для большей жесткости стѣнокъ резервуара, послѣдній имѣеть:

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

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

Внутри резервуара, во всю его высоту, имѣется клепанная труба, внутренняго діаметра $3,5 \text{ фута}$; 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.

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

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

Вѣсъ воды въ резервуарѣ:

0,75. $(55352,67 + 13143,86) = 51372,40$ пудовъ $= \approx 51400$ пуд., что можно принять на случай перелива резервуара.

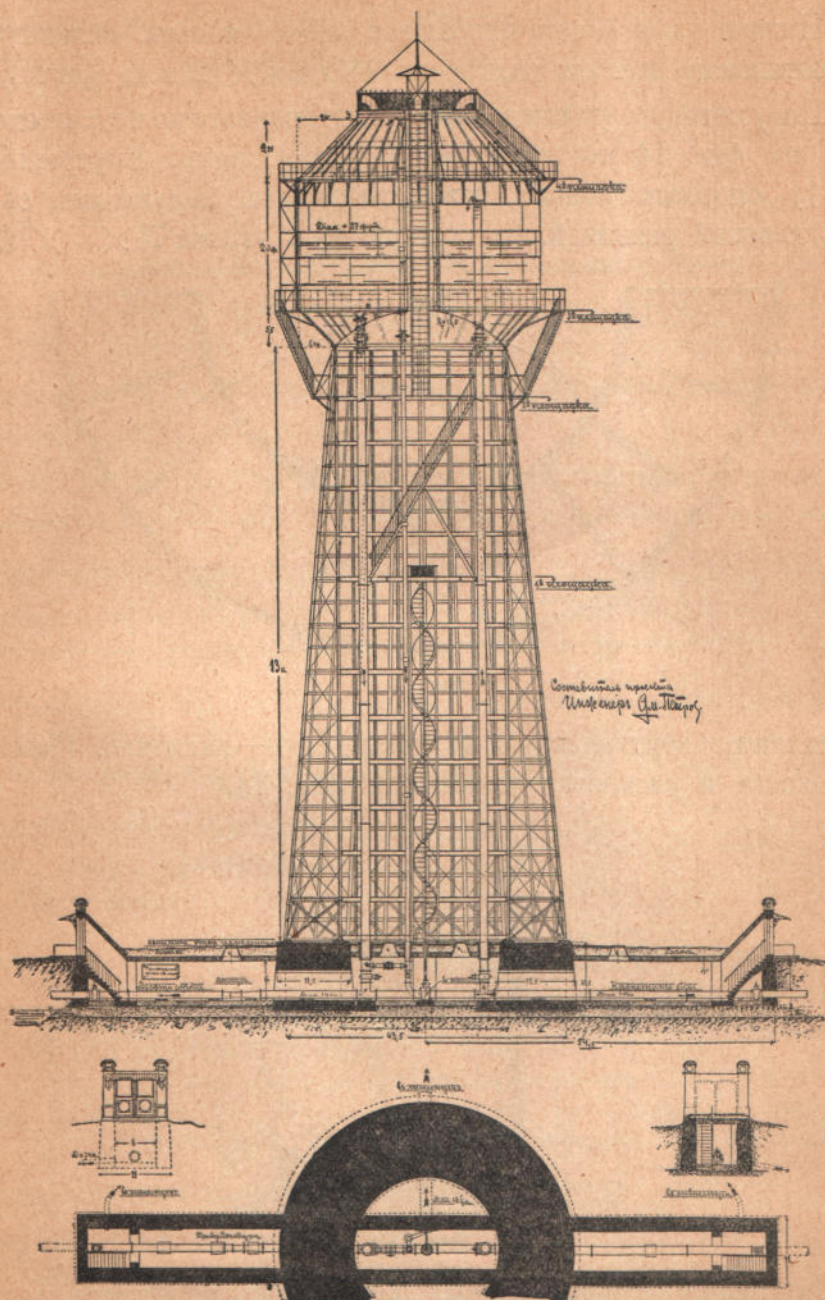
Вся эта нагрузка давитъ на желѣзный остовъ башни, который собранъ изъ 20 вертикальныхъ фермъ, установленныхъ радіально; каждая изъ нихъ въ очертаніи представляетъ собой прямоугольный треугольникъ высотой 91 футъ и съ гипотенузой въ 91,42 фута, раздѣленный по всей высотѣ на 13 равныхъ частей.

Каждая тринадцатая часть фермы имѣетъ по 2 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, собраны изъ двухъ уголковъ $75 \times 75 \times 10$ м.м., а въ верхней части—изъ уголковъ $65 \times 65 = 10$ м.м.; точно также и наклонная часть треугольной фермы.



Фиг. 13.

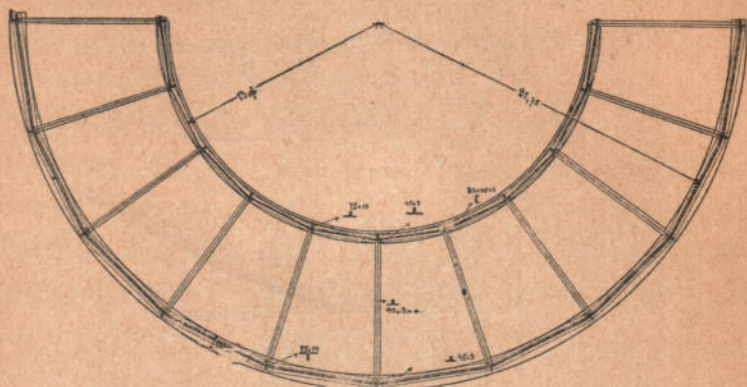
Въ $\frac{1}{350}$ нат. величины.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инде, полезной емкости на 65 тысячъ ведеръ воды и съ водонепроницаемой галлерей.

(по проекту инж. д. в. петрова).

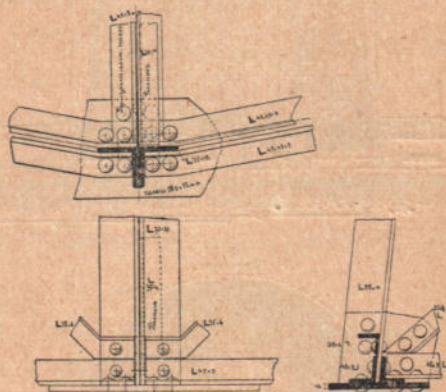
Нижние узлы ферм опираются на два кольца, склепанных из котельного железа размеров 180 м.м.×12 м.м. (фиг. 13).

Наружный узел каждой фермы, у опорного кольца, представлен на фиг. 14 в трех своих проекциях. Внутренние же узлы у опорного кольца тождественны с наружными, с той лишь главной разницей, что в первых 2 уголка 75×75×10 м.м.



Фиг. 13.

направляются вертикально, а в последних—наклонно. Размеры же поясов и раскосов указаны на фиг. 14.



Фиг. 14.

Внутренние горизонтальные кольца, из корытного железа, следующих размеров:

1, 2 и 3 кольца:—80×45×6 м.м. (фиг. 13)

4, 5, 6, 7 и 8-ое—65×42×5,5 м.м.

9-ое кольцо (1-я площадка)—100×50×6 м.м.

10, 11 и 12-ое кольцо 65×42×5,5 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-ое кольцо: $45 \times 45 \times 9$ м.м.

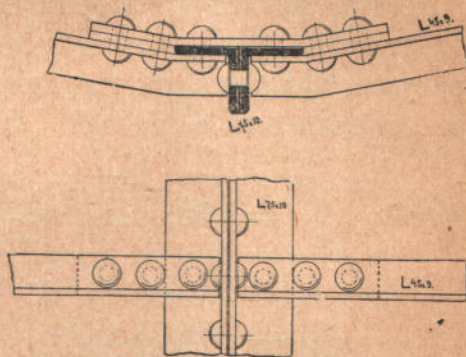
и съ 9-го—13-ое кольцо: $40 \times 40 \times 6$ м.м.

Въначающее кольцо, къ которому приклепаны концы вертикальныхъ и наклонныхъ ногъ каждой фермы, имѣеть діаметръ 26 футъ и состоитъ изъ полосы котельнаго желѣза шириной 300 м.м. (12 дм.) и толщиной 13 м.м.. На это кольцо установленъ резервуаръ.

Вѣсъ остова башни, съ площадками и лѣстницами не мѣнѣе 4500 пудовъ.

Давленіе отъ силы вѣтра принимается 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:

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

в) для цилиндрической части резервуара:

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

г) для нижняго конуса:

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

(*) При расчетѣ стропилъ шпика Петропавловскаго Собора въ Петроградѣ—давленіе вѣтра было принято 50 пудовъ на 1 кв. саж. или 180 килогр. на 1 кв. метръ, что соответствуетъ урагану, со скоростью вѣтра 130 верстъ въ часъ.

На полную площадь проекции 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 давление вѣтра равно

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

Такъ какъ вѣтеръ давитъ на цилиндрическую поверхность, то

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

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

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

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

(Здѣсь $\omega_1 = 18,50$ кв. ф.

$\omega_2 = 256,68$ кв. ф.

$\omega_3 = 740,00$ кв. ф.

$\omega_4 = 173,25$ кв. ф.

$\omega = 1188,43$ 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 даномъ случаѣ

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

$$h_2 = \frac{37 + 2 \cdot 18,5}{37 + 18,5} \cdot \frac{9,25}{3} + 20 + 5,5 = 29,61 \text{ ф.}$$

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

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

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

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

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

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

1) Моментъ отъ поверхности резервуара равенъ:

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

2) Моментъ остова башни:

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

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

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.,

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

Коэффициентъ устойчивости башни:

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

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

Коэффициентъ легкости

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

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

$$Q_1 = V \cdot g,$$

гдѣ $V = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot X_0 = 600 \text{ куб. ф. } *) = 126.23,14.17,375 - 600 = 13148,49 \text{ куб. ф. } = 38,34 \text{ куб. саж.}$

$$g = 1000 \text{ пудовъ.}$$

Слѣдов. $Q_1 = 38340 \text{ пудовъ.}$

Полное давленіе на грунтъ, при резервуарѣ наполненномъ водою:

$8100 + 51400 + 38340 = 97840 \text{ пуд., } **)$ что составляетъ на 1 кв. футъ —

$97840 : 1363,9375 = 71,73 \text{ пуда}$ или почти 0,5 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 $1\frac{1}{2}$ дм. и длиною 4,5 фута.

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

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

*) Объемъ всѣхъ отверстій въ стѣнкѣ кольцевого фундамента.

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

Внутренніе размеры камеры $104 \times 6 \times 6$ фут.; что соответствует объему въ 8615 ведеръ, т. е почти $\frac{1}{8}$ объема резервуара башни. Помѣщеніе достаточно свѣтлое, съ 4 иллюминаторами въ чугунныхъ коробкахъ, пропущенныхъ черезъ бетонный сводъ, автоматически открывающимися внизъ, что сдѣлано на тотъ случай, если большой разрывъ одной изъ трубъ произойдетъ снаружи водонепроницаемой камеры и чтобы обильная вода, не накопляясь на поверхности камеры, скорѣе уходила черезъ камеру въ ливнеспускъ.

Въ камерѣ предполагалось помѣстить на особой распределительной доскѣ, у входа, всѣ необходимые измерительные приборы: приборъ Вентури, отсчитывающій количество протекающей воды, въ зависимости отъ разности скорости 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 вентиляціонныя отверстія.

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

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

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

Диаметръ резервуара $D=10,50$ метр.

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

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

Радиусъ сферическаго дна $\rho = 15$ метр.

Емкость резервуара:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h + \frac{\pi \cdot h_1^2}{3} (3\rho - h_1) = \frac{3,14 \cdot 10,5^2 \cdot 7,15}{4} +$$

$$+ \frac{3,14 \cdot 0,95^2 \cdot (3 \cdot 15 - 0,95)}{3} = 660,44 \text{ куб. метр.} =$$

$$= \infty 660 \text{ тонн} = 53753 \text{ ведра.}$$

Полезная емкость принята не менѣе 50000 ведеръ.

Разрывающее усиліе на 1 метръ длины листовъ днища будетъ:

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

Ослабленіе дна резервуара 14 м.м. заклепками составляетъ, при 6,4 сант. разстояніе 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

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

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-ми-угольное кольцо остова башни въ 32 точкахъ, которыя находятся другъ отъ друга на равныхъ разстояніяхъ.

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

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

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

Здѣсь $f = 2,2$ метра—высота кровли,

$D = 10,5$ метр.—діаметръ резервуара,

$P = 180$ килогр. на 1 кв. метръ,

$\alpha = 18^\circ$ уголъ кровли,

$h_0 = 0,9$ метра—холостая высота резервуара, т. е. высота части резервуара между отверстіями холодной трубы и верхней кромкой резервуара;

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

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

Послѣ подставки этихъ величинъ въ уравненіе моментовъ силъ вѣтра—получимъ

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

Наибольшее давленіе на кольцо остова башни опредѣляемъ изъ формулы

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

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

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

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

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

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

Здѣсь ω — площадь опоры.

a—расстояніе 2-й опоры отъ оси \perp направленію вѣтра,

b— „ 3-й „ „ „ „ „ „ „

c— „ 4-й „ „ „ „ „ „ „

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

$$a = 4,9215 \text{ метр.}$$

$$b = 3,7668 \text{ „}$$

$$c = 2,0385 \text{ „}$$

Слѣдов

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

Моментъ сопротивленія

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

Давленіе отъ вѣтра на одну опору:

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

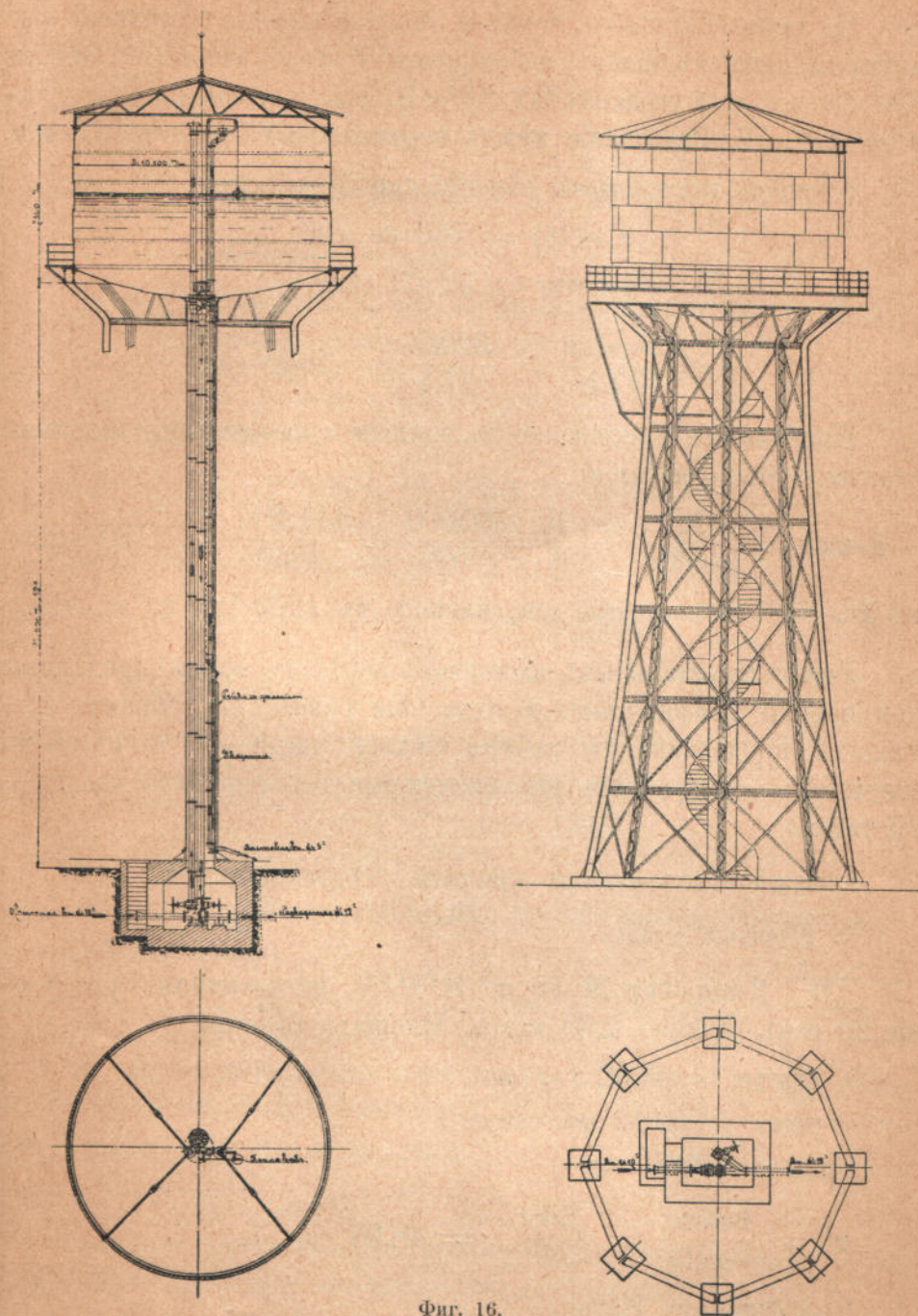
Распредѣляя это давленіе на двѣ опорныя точки, такъ какъ принимали въ этомъ подсчетѣ вмѣсто 32—16 опоръ, получимъ наибольшую величину перегрузки на одну опору въ 568 килогр. или 0,568 тоннъ. Полное-же давленіе на опору при вѣтрѣ

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

Изгибающій моментъ по срединѣ одного элемента верхняго кольца:

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

Кромѣ *изгиба*, въ этомъ элементѣ кольца появляется *вытягиваніе*, вслѣдствіе наклоннаго расположенія стержней верхняго яруса. Графическое опредѣленіе этого усилія P , приблизительно, + 95 тоннъ.



Фиг. 16.

Въ $\frac{1}{320}$ натур. величины.

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

(По проекту Акционернаго Общества Судостроительн., Механическ. и Литейныхъ заводовъ въ Николаевѣ).

На основаніи этого, верхнее опорное кольцо составлено изъ двухъ клепаныхъ 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

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

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

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

Наибольшее напряженіе въ элементѣ, на основаніи формулы сложнаго сопротивленія:

$$R\text{-max} = \frac{P.}{\omega\text{-netto}} + \frac{M}{W} = \frac{95000}{166} + \frac{1112811}{1830} = 1180 \text{ kgr.}$$

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

Усилія въ остальныхъ элементахъ верхняго яруса опредѣлены при помощи графическаго 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

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

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

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

$$r^2 = \frac{I\text{-min.}}{\omega\text{-netto}} = \frac{2866}{52,12} = 48,98 \text{ сан.}^4$$

Коэффициентъ Навье

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008. \frac{1}{r^2}} = \frac{1}{1 + 0,00008. \frac{290.290}{48,98}} = 0,88$$

Допускаемое напряжение

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

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

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

Допускаемое напряжение

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

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 водой, равна

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

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

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

Площадь проекціи кровли на плоскость перпендикулярную къ направленію вѣтра

$$\omega_1 = \frac{1}{2} (2.2.10.5) = 11.55 \text{ кв. метр.}; \text{ разстояніе центра тяжести до основанія } h_1 = 0.73 \text{ м.}$$

Площадь проекціи резервуара на ту-же плоскость принимаемъ равной

$$\omega_2 = 10.5. (0.90 + 7.15 + 0.35) = 88.20 \text{ квадр. метр.}; h_2 = 4.20 \text{ м.}$$

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.

$$\omega_3 = 17.829 - 50\% = \approx 9 \text{ кв. метр.}; h_3 = \frac{2 \cdot a + b \cdot h}{a + b \cdot 3} = 1.13 \text{ мет.}$$

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 метр.

>	>	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.

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

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

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

Слѣдовательно искомый изгибающій моментъ:

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

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

$$W = 25,7. \omega. \text{ метр.}^3$$

Наибольшее давленіе на одно ребро отъ дѣйствія вѣтра:

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

Полное наибольшее вертикальное давленіе на ребро нижняго яруса:

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

Какъ видно изъ фиг. 16, всѣ ребра нижняго яруса довольно сильно наклонены къ горизонту, cosinus угла наклона ихъ составляетъ около 0.962, такъ что усиліе въ ребрѣ равняется

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

Длина разсматриваемой части ребра

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

Сѣченіе ребра составлено изъ двухъ швелеро́въ

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

Площадь сѣченія и моментъ инерціи:

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

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

$$I_{\text{min}} = 12944 \text{ сан.}^4$$

Квадратъ радіуса инерціи сѣченія

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

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

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

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

2. Диагонали.

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

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

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

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

Усиліе въ діагонали

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

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

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

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

Наибольший изгибающий момент въ основаніи башни отъ вѣтра равенъ ∞ 555 тоннъ-метр., а моментъ сопротивленія основанія = 30,22. м. мет.³

Наибольшее давленіе отъ вѣтра на грунтъ

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

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

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

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

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

При площади основанія каждой опоры, равной

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

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

Коэффициентъ устойчивости башни, когда резервуаръ ея безъ воды, равенъ

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

Здѣсь A = 21 тонна — вѣст 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;

(* 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.

$c = 12.90$ метр. — плечо сопротивляющагося момента слѣдующей опоры, т. е. разстояніе между тѣмъ-же ребромъ опрокидыванія и третьей опорой;

$M_{вѣтра} = 555$ 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, двигающимся по вертикально-установленной рейкѣ съ соответствующими дѣленіями.

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

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

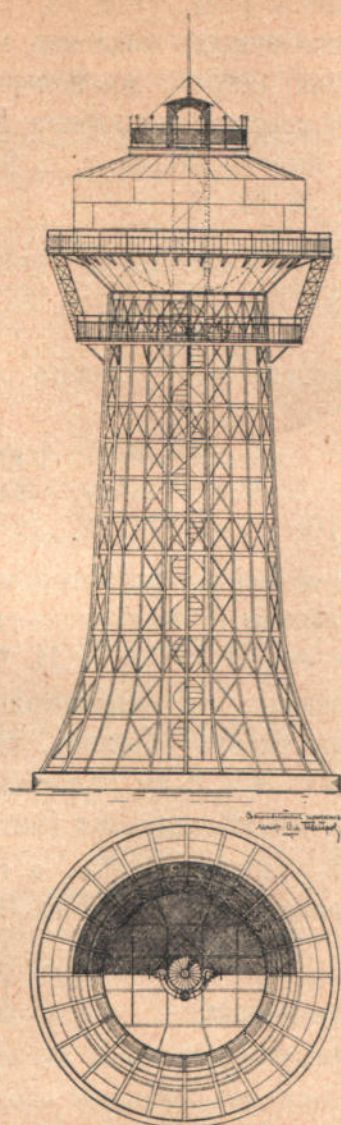
Эта башня, изображенная ниже на фиг. 17-й 18-й была спроектирована въ 1908 году для Тюменскаго городского водопровода; затѣмъ она была замѣнена другимъ варіантомъ — уравнильной башней (фиг. 19), сообразно которой впоследствии была разработана предварительная смѣта. *).

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 осталя вопросомъ до настоящаго времени; дѣло затормозилось, вслѣдствіе чего кромѣ

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



Фиг. 17.

Въ $\frac{1}{320}$ натур. величины.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ Инце на 22865 ведеръ воды.

(По проекту инж. Д. В. Петрова).

башенъ перваго и втораго типа—авторомъ этого труда ничего не было спроектировано.

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

Внутри стойки связаны 11-ю горизонтальными кольцами не считая опорнаго и верхняго, служащаго базой для днища резервуара.

Горизонтальныя 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 рифленаго желѣза по корытнымъ балкамъ № 8 собрано изъ швелера № 10 по Р. Н. С.

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

Всѣ діагонали изъ углового желѣза, а именно:

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

Нижніе концы стоекъ приклепаны къ опорному фундаментному кольцу, склепаному 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. (*).

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

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

Полезная емкость резервуара, принимая во вниманіе, что, отверстіе разводящей трубы возвышается на одинъ футъ отъ сферическаго днища, а центръ отверстія вѣстовой трубы на одинъ фут. ниже верхней крышки резервуара, составляетъ 9941.59 куб. фут. или 22865 ведеръ воды.

Допуская напряженіе листового желѣза въ 1000 килогр. на кв. сан., а коэффиціентъ 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 корпусѣ — 3 м.м.
- 2.) въ 1-мъ и 2-мъ поясахъ цилиндрической части резервуара — 3 м.м.
- 3.) въ 3-мъ поясѣ " " " " " 4 м.м.
- 4.) въ нижнемъ конусѣ резервуара башни 4 м.м.
- 5.) въ сферическомъ днищѣ " " " " " 3 м.м.

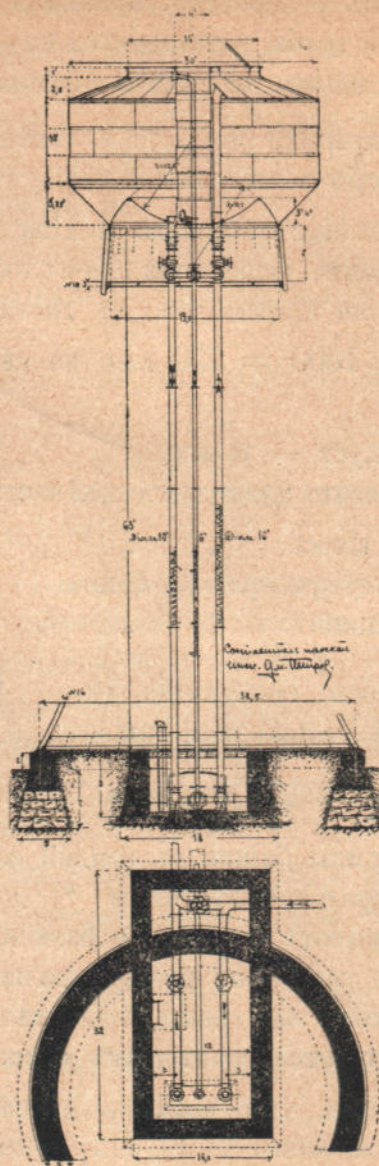
Полный вѣсъ всего сооруженія около 48000 килогр. или ∞ 3000 пуд., слѣдовательно коэффиціентъ легкости башни выражается въ

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

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

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



Фиг. № 18.

Въ $\frac{11}{275}$ натуральной величины.

Разрѣзъ башни и водонепроницаемой фундаментной камеры.

(По проекту инж. Д. В. Петрова).

двутаковыми балками. Входъ въ камеру черезъ квадратный люкъ и стремяную лѣстницу.

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

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). Кромѣ того, установленныя на этихъ трубахъ задвижки позволяютъ нагнетать воду въ сѣть и минуя колонну.

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

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

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

Желѣзная уравнильная башня съ резервуаромъ полезной емкости на 33350 ведеръ воды и съ водонепроницаемой фундаментной галлерей.

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.

Разсчетъ 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) *Верхний конус:*

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

b) *Цилиндрическая часть резервуара:*

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

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

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

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

$$V_4 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 3,5^2}{4} \cdot 17,55 = 168,76 \text{ куб. фут.}$$

e) *Нижняя часть нижнего конуса резервуара:*

$$V_5 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) - \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (r^2 + r \cdot r_1 + r_1^2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r - r \cdot r_1 - r_1^2) = \\ = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,7 \cdot (12,95 \cdot 12,95 + 12,95 \cdot 10,25 - 10,25 \cdot 7,55 - \\ - 7,55 \cdot 7,55) = 469,25 \text{ к. ф.}$$

f) *Сферическое днище резервуара:*

$$V_6 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h^2 \cdot (3R - h) = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2,7^2 \cdot 2,7 \cdot (3 \cdot 10,5 - 2,7) = \\ = 219,75 \text{ куб. ф.}$$

g) *Часть внутренней горловины d=3,5 ф. и h=2,7 ф.*

$$V_7 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 3,5^2}{4} \cdot 2,7 = 25,96 \text{ куб. ф.}$$

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

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 дѣйстви-тельномъ напряженіи листовъ въ 300 пудовъ на одинъ кв. дм. или въ 760 килогр. на кв. сант.

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

$$\delta = \frac{R. h. A}{k. 12} + \delta_1 = \frac{17. \left(\frac{10.5}{2} + 3 - 1\right). 1.728}{300.12} + 0.025 = 0.059 + 0.025 = 0.084 \text{ дм.} = \infty 2 \text{ м.м.}$$

b) Нижний вѣнецъ цилиндрической части резервуара:

$$\delta = \frac{17. (10.5 + 3 - 1). 1.728}{300.12} + 0.025 = 0.128 \text{ дм.} = \infty 3 \text{ м.м.}$$

c) Нижний 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.

d) Сферическое днище резервуара:

$$\delta = \frac{R. h. A}{2. k. 12} + \delta_1 = \frac{1}{300.12} 5.25. (3 + 10.5 + 6.75). 1.728 + 0.025 = 0.076 \text{ дм.} = 2 \text{ м.м.}$$

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

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

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

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

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

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

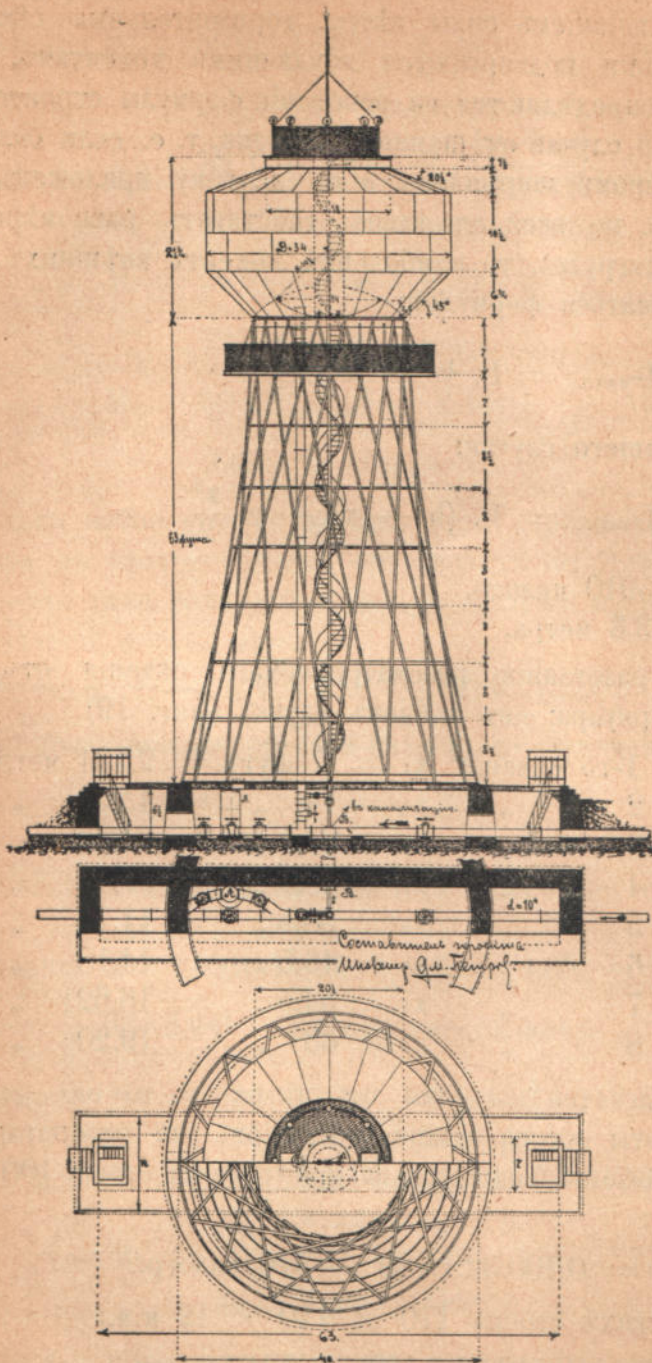
$$h = 10,8 \text{ фута} = 3,3 \text{ метра.}$$

Давленіе вѣтра на остовъ подраздѣляемъ на двѣ группы:

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

*) Все остовы башенъ сист. инж. В. Г. Шухова собираются заводомъ А. В. Бари 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, вслѣдствіе дорогаго соединенія трубчатыхъ стоекъ въ мѣстахъ пересѣченій и болѣе хлопотливой сборки, требующей значительно больше времени, чѣмъ при сборкѣ стоекъ остова изъ углового желѣза. Примѣненіе-же для соединеній частей остова сравнительно недорогихъ оригинальныхъ швейцарскихъ соединеній марки +gf+ (см. каталогъ 1908 г. Акціонернаго Общ. Желѣзодѣлат. и Сталелит. Заводовъ «Жоржъ Фишеръ» въ Шафгаузенѣ) оказалось затруднительнымъ въ смыслѣ сборки и неконструктивнымъ, ибо при сложномъ замыканіи каждаго яруса остова пришлось-бы въ нѣкоторыхъ пересѣченіяхъ ставить вмѣсто швейцарскихъ соединеній—какіянибудь другія. Замкнуть-же ярусъ остова только при помощи однихъ швейцарскихъ соединеній—представляется почти невозможнымъ.

**) Способъ подсчета, см. предыдущія башни.



Фиг. № 19.

Въ $\frac{1}{320}$ натуральной величины.

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

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

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

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

для 1-го сѣченія:	$x_1 = 7$ футъ	$= 2.134$ метра
” 2	” $x_2 = 14$ ”	$= 4.268$ ”
” 3	” $x_3 = 22,5$ ”	$= 6.860$ ”
” 4	” $x_4 = 30,5$ ”	$= 9,30$ ”
” 5	” $x_5 = 38,5$ ”	$= 11,74$ ”
” 6	” $x_6 = 46,5$ ”	$= 14,18$ ”
” 7	” $x_7 = 54,5$ ”	$= 16,62$ ”
” 8	” $x_8 = 63$ ”	$= 19,20$ ”

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

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

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

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

Принимая эти данныя для расчета соответствующихъ 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:

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

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

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

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

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:

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

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

Вѣсъ воды:

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

Полный вѣсъ резервуара:

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

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

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

Вѣсь остова башни, площадки, лѣстницы, балкона и вѣнчающаго горизонтальнаго кольца (базы подъ резервуаръ) можно принять $\infty 26000$ килогр., что составляетъ давленіе

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

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

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

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

для 1-го сѣченія:	$P_{\text{max}} = 687 + 13230 + 42,3 \cdot 2,134 = 14007$	килогр.
— 2	$= 935 + 13230 + 42,3 \cdot 4,268 = 14345$	»
— 3	$= 1260 + 13230 + 42,3 \cdot 6,860 = 14780$	»
— 4	$= 1572 + 13230 + 42,3 \cdot 9,900 = 15195$	»
— 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 провѣряемъ на продольный изгибъ, считая свободную длину, равную вертикальному разстоянію между горизонтальными кольцами остова:

a) Для верхнихъ уголковъ:

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

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

$$\omega = 22,7 \text{ кв. сан.}$$

$I = 207$ 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).

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

$$K = R. \varphi = 1100.0.63 = 693 \text{ килогр. на кв. сант.}$$

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 $K_1 = 670 \text{ кил. на кв. сан.}$

b) Для нижнихъ уголковъ:

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0.00008. \frac{258.258. \omega}{l}} = 0.68$$

Здѣсь $\omega = 25 \text{ кв. сан.}$

$$l. = 280 \text{ сан.}^4$$

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:

$$K = R. \varphi = 1100 \times 0.68 = 748 \text{ кил. на кв. сан.}$$

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

Включая, при сборкѣ башни, вмѣсто 7 горизонтальныхъ колець—еще одно, т. е. всего 8 колець,—достигнемъ при всѣхъ другіхъ 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.

Вѣсъ сооруженія башни съ резервуаромъ безъ воды:

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

Моментъ отъ вѣса башни:

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

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 галлерею, 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 уравнильнымъ водоемомъ.

Сигнальная, она-же и сливная, труба установлена въ центрѣ винтовой лѣстницы, открываясь нижнимъ концомъ въ канализаціонный коллекторъ В—для отвода воды, въ случаѣ переполненія резервуара или во время его промывки.

*) 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 уравнильный водоемъ башни изъ экономическихъ соображеній придется обратить въ водонапорный. для чего потребуется установка 2-й трубы, т. е. нагнетательной.

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

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

Учетъ воды, поступающей въ сѣть города, предполагалось производить при помощи трубы Вентури, включенной за воздушнымъ колпакомъ, съ обходнымъ контрольнымъ реактивнымъ водомѣромъ небольшого колибра. 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 цѣлесообразнымъ, чѣмъ непосредственное включеніе большихъ водомѣровъ на магистрали. вмѣстѣ съ тѣмъ подобное расположение водомѣра даетъ еще то преимущество, что въ случаѣ порчи механизма контрольнаго водомѣра или въ случаѣ его проверки, 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 представ-

лзать собой бронзовый полый цилиндръ съ 3-мя приѣмными иглами. Весь цилиндръ позолоченъ, а конецъ его большой иглы покрытъ платиновой шляпкой для защиты острія отъ химическаго дѣйствія и плавленія. Къ громоотводному шпилью наконечникъ приѣмника надѣвается нижнимъ полымъ концомъ и зажимается двумя винтами. Шпиль—пустотѣлый, мѣдный съ сѣченіемъ въ 75 кв. м.м. Нижній конецъ шпильи и три мѣдныхъ ванты 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, толщиной въ 3 м.м. и площадью въ 1,5 кв. метра. Отводный цинковый листъ предполагается засыпать въ колодець мелкимъ коксомъ, что уменьшаетъ сопротивление заземленія и предохраняетъ его отъ развѣданія ржавчиной. *)

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

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

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

*) Если колодець 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.

(Руководяція указанія относительно защиты сооруженийъ отъ молніи—см. «Правила и нормы для электрич. устройствъ сильныхъ токовъ». Изд. 2-е 1908 г. стр. 184).

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

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

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

Желѣзная контръ-башня водопровода города Унна съ шаровымъ желѣзнымъ резервуаромъ полезной емкости въ 160 тысячъ ведеръ.

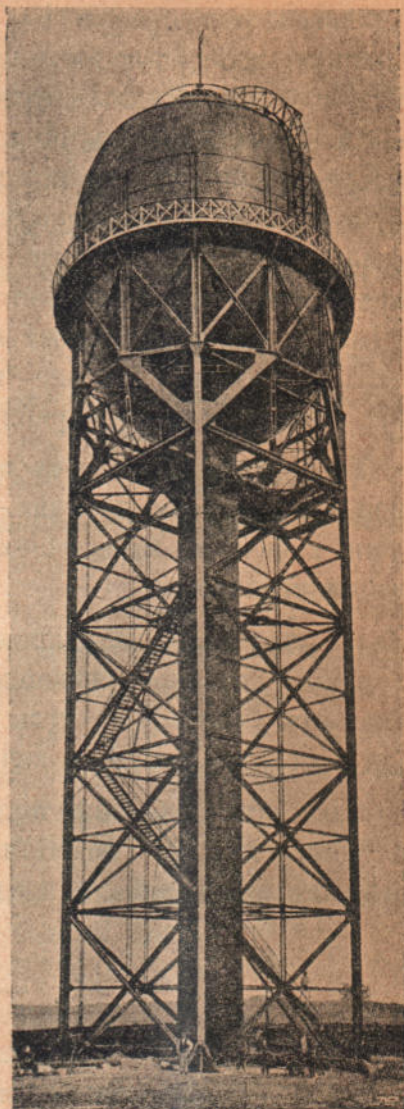
На фиг. 20-й изображена желѣзная контръ-башня, недавно построенная для водопровода города Унна (Westfalen). Этотъ одинъ изъ большихъ водопроводовъ Германіи поднимаетъ воду изъ 4-хъ пунктовъ рѣки Руръ; основной запасный резервуаръ, бетонный, находится на естественной возвышенности, — а изображенный здѣсь возвышенный резервуаръ, емкостью въ 160 тыс. ведеръ — включенъ въ сеть магистралей какъ контръ-башня.

Остовъ башни собранъ изъ обыкновенныхъ вертикальных фермъ, высотой 16,4 саж. (см. 19 стр.). Въ этой башнѣ — заслуживаетъ вниманіе желѣзный клепаный резервуаръ шарообразной формы — наивыгоднѣйшій въ смыслѣ затраты матеріала. Наибольшее напряженіе на растяженіе имѣетъ мѣсто на внутренней поверхности шара по касательной, ибо резервуаръ подвергается внутреннему давленію. Для расчета такихъ резервуаровъ возможно пользоваться съ большою точностью формулой

$$\delta = 0,5 \cdot r \cdot \frac{P}{K} + \delta_1$$

въ которой:

δ — толщина желѣза въ сант.



Фиг. 20.

Желѣзная контръ-башня въ г. Унна.

r — внутренний радиус резервуара в сант.

P — внутреннее давление в килогр. на кв. сант.

K — допускаемое напряжение железа при растяжении в килогр. на кв. сант.

δ_1 — 0,3 до 0,5 сант.—на изнашивание и ослабление железных листов заклепками.

Въ смыслъ практическаго осуществленія большихъ резервуаровъ шарообразной формы—особыхъ затрудненій не встрѣчается: клепка швовъ обыкновенная, сферическія части точно штампуются на заводѣ и пригонка ихъ можетъ быть достигнута съ большою точностью.

Желѣзная водонапорная башня Харьковскаго Городскаго водопровода съ резервуаромъ полезной емкости въ 60 тыс. ведеръ воды.

Харьковскій водопроводъ, построенный частнымъ Обществомъ 38 лѣтъ тому назадъ,—въ настоящее время, а именно съ 1 марта 1904 года, принадлежитъ городскому общественному управленію. Источниками водоснабженія служатъ артезіанскіе и абессинскіе колодцы и родники. Вода предварительной обработкѣ, аэраціи и фильтрованію, не подвергается. Система водоснабженія съ подъемомъ воды и запаснымъ контръ-резервуаромъ; средній динамическій напоръ въ сѣти 8 атмосферъ. Полный годовой расходъ воды въ 1910 году достигалъ 130 милліоновъ ведеръ, съ максимальнымъ суточнымъ разборомъ въ 500 тысячъ и минимальнымъ 180 тысячъ ведеръ. Жителей 250 тысячъ. Сѣть магистралей 70 верстъ, домовыхъ водопроводовъ 2092. Въ настоящее время Харьковскій водопроводъ расширяется по проекту проф. Рузскаго: устраиваются дополнительныя артезіанскія скважины, насосныя установки, дополнительныя магистрали сѣти и пр. Программа расширенія предусматриваетъ населеніе города въ 400 тыс. человѣкъ и общую мощность водопровода въ 2 милліона ведеръ воды въ сутки. Въ программу переустройства водопровода, въ зависимости отъ топографическихъ условій города—вошло выдѣленіе сѣти нагорной части, а именно района Сумской и Пушкинской улицъ, въ отдѣльную нагорную зону съ самостоятельной водонапорной башней съ резервуаромъ на 60

тысячъ ведеръ (фиг. 21). Вода въ эту башню подается центробѣж-
ными электро-насосами изъ существующаго Чернышевскаго за-
паснаго бассейна. Вышеуказанная водонапорная желѣзная башня-
системы инж. Шухова была начата постройкой въ апрѣль 1913
года, а закончена и включена въ сѣть нагорной зоны водопро-
вода 26 сентября того-же года.

Высота гиперболоидальной сѣтки остова башни 110 фут.;
фундаментъ кирпичный.

Желѣзный клепанный резервуаръ, внутренняго діам. 36 фут.
1 дм., съ днищемъ Инце, имѣетъ слѣдующіе размѣры: (фиг. 21)

1) Высота нижняго конуса резервуара	5 фут.	4 дм.
2) „ цилиндр. части	23 „	6 „
3) „ верхняго конуса	4 „	— „

Полная высота 32 фут. 10 дм.

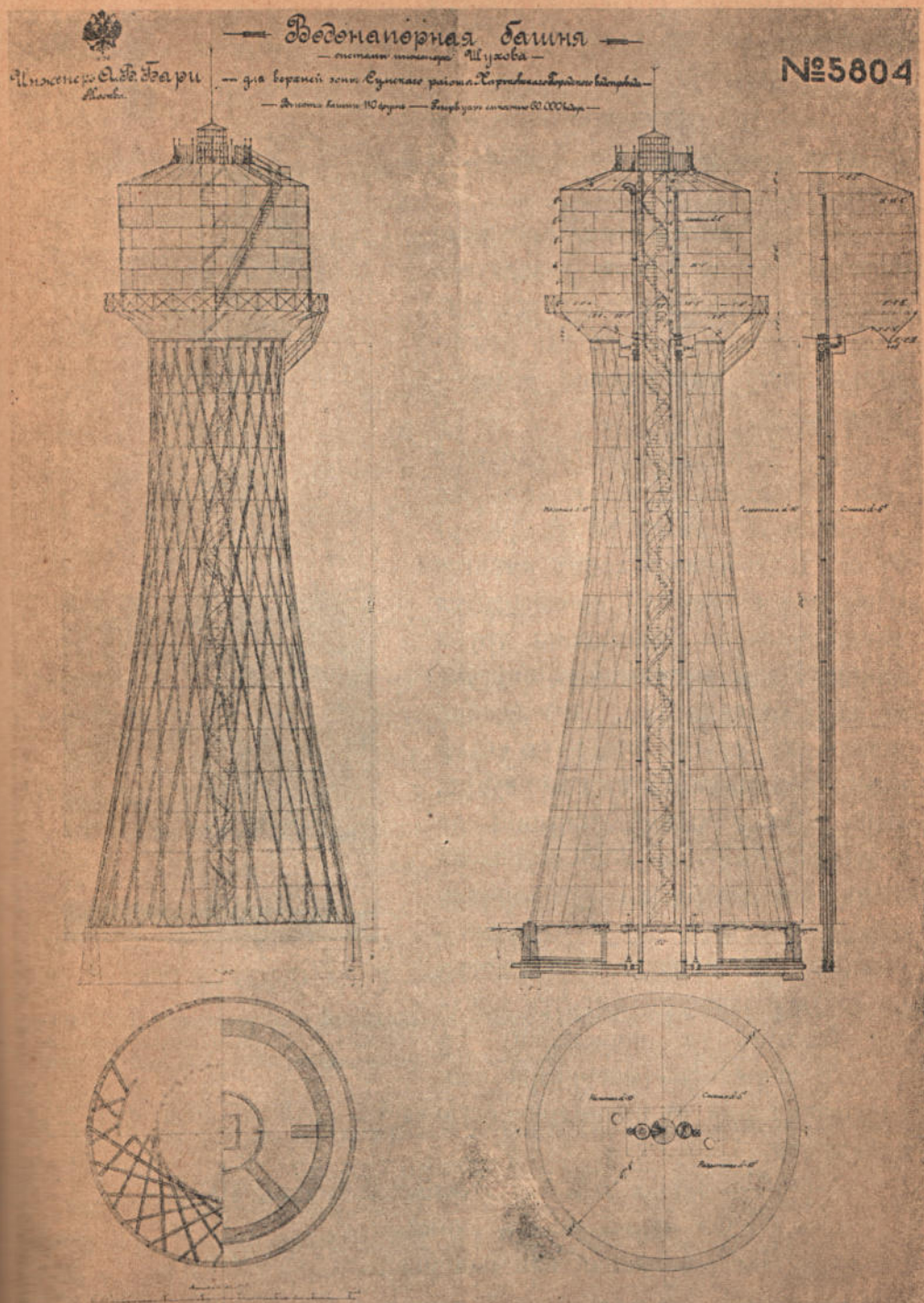
Толщина листовъ желѣза:

- 1) нижняя сферическая часть резервуара $\frac{3}{8}$ дм.
- 2) нижняя конусообраз. „ „ $\frac{7}{16}$ „
- 3) цилиндрическая часть резервуара, изъ 6 вѣнцовъ, тол-
щина листовъ которыхъ, считая снизу вверхъ— $\frac{5}{16}$ дм., $\frac{1}{4}$ дм.,
 $\frac{7}{32}$ дм., $\frac{3}{16}$ дм., $\frac{3}{16}$ дм. и $\frac{3}{16}$ дм.

4) верхняя конусообразная часть резервуара— $\frac{5}{32}$ дм. Внут-
ренняя центральная клепанная труба (горловина) резервуара,
проходящая черезъ резервуаръ во всю его высоту (фиг. 21)
имѣетъ внутренній діаметръ въ 4 фута 8 дм. и собрана изъ ли-
стовъ желѣза толщиной внизу $\frac{1}{4}$ дм. (2 вѣнда) и далѣе, вверхъ
по $\frac{3}{16}$ дм. (6 вѣнцовъ). Опорное кольцо резервуара, при помощи
котораго послѣдній скрѣпляется съ сѣткой желѣзнаго остова
башни—изъ желѣза $\frac{3}{8}$ дм. Конусообразная часть резервуара къ
опорному кольцу приклепана при помощи уголковъ $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм.

Сферическая часть днища соединяется съ конусообразной
тоже уголками $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм.

Конусообразная нижняя часть резервуара соединяется съ
цилиндрической при помощи внутренняго углового желѣза $3 \times$
 $3 \times \frac{3}{8}$ дм., а конусообразная верхняя часть съ цилиндриче-
ской— $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{5}{16}$ дм.



Фиг. 21.

Железная водонапорная башня Харьковского Городского водопровода с резервуаром на 60 тыс. ведер воды.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

Внутренніе уголки жесткости верхняго конуса резервуара $3 \times 3 \times 1/4$ дм.

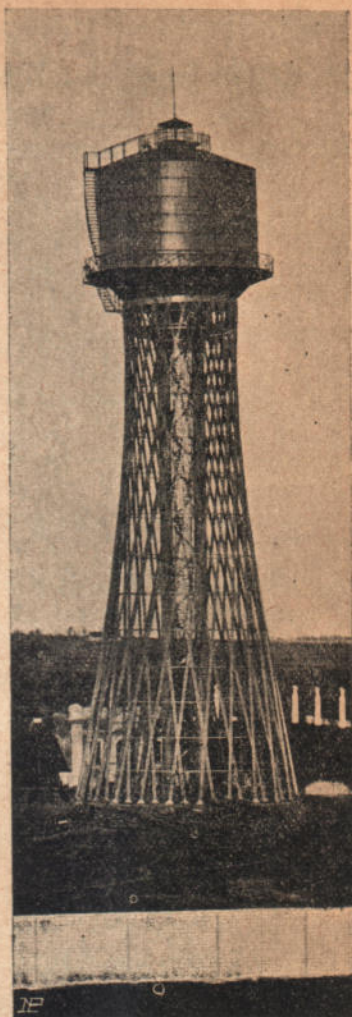
Диаметръ фундаментнаго желѣзнаго кольца остова башни 50 футъ.

Остовъ башни и вся наружная поверхность желѣзнаго резервуара окрашена сѣрой масляной краской, внутренняя-же поверхность резервуара, какъ смачиваемая водой—инертолемъ.

По вертикальной оси башни (Фиг. 21) идетъ винтовая желѣзная лѣстница до самаго верха резервуара. Подъ резервуаромъ имѣется площадка, съ которой производится маневрированіе задвижками трубъ башни. Надъ резервуаромъ имѣется верхній балконъ гдѣ расположенъ люкъ для спуска по внутренней стремяной лѣстницѣ въ резервуаръ. Выходъ съ винтовой лѣстницы на этотъ балконъ прикрытъ остекленнымъ фонаремъ—для уменьшенія сквознаго вѣтра въ центральной горловинѣ резервуара. Для осмотра резервуара снаружи имѣется средний балконъ съ периллами—на уровнѣ перехода резервуара изъ конусообразной въ цилиндрическую часть. Трубы башни (фиг. 21) слѣдующія:

Разводящая или раздаточная . . .	діам. 10 дм.
Общая переливная и сливная . . .	„ 6 дм.
Нагнетательная или напорная . . .	„ 10 дм.

Въ предупрежденіе замерзанія воды въ напорной трубѣ во время остановки насосовъ, напорная труба соединена отросткомъ



Фиг. 22.

Желѣзная водонапорная башня Харьковскаго Городскаго водопровода съ резервуаромъ на 60 тыс. ведеръ воды.

въ 3 дм., съ соответствующей задвижкой на немъ, съ нижней частью резервуара. При открытіи этой задвижки можетъ быть достигнута въ напорной трубѣ циркуляція воды, такъ какъ въ этомъ случаѣ она тоже обращается въ разводящую.

Всѣ трубы проходятъ по сторонамъ винтовой лѣстницы и заключены въ предупрежденіе отъ замерзанія въ деревянные кожухи, обложенные изнутри пробковыми листами, а снаружи обернуты рубероидомъ.

Въ резервуарѣ на днѣ установленъ воздушный колпакъ гидрометра, который трубкой соединенъ съ указателемъ уровня воды, помѣщеннымъ въ насосномъ зданіи, гдѣ установлены два центробѣжныхъ электро-насоса, съ моторами трехфазнаго тока мощностью 6 тыс. ведеръ воды въ часъ каждый.

Вся мѣстность башни обнесена кирпичнымъ заборомъ системы Прусса (фиг. 22).

Желѣзная напорная башня на заводѣ Уральско-Волжскаго Metallургическаго Общества въ Царицынѣ на Волгѣ съ резервуаромъ на 3000 пуд. нефт. остатковъ.

Для надобностей завода Уральско-Волжскаго Metallургическаго О-ва, въ Царицынѣ, была сооружена заводомъ инженера А. В. Бари въ 1899 году напорная гиперболоидальная башня системы инженера Шухова съ резервуаромъ полезной емкости на 3 тысячи пудовъ нефтяныхъ остатковъ (фиг. 23-я).

Высота остова башни, отъ фундамента до плоскости расположенія балокъ подъ плоское днище резервуара, 50 футовъ. Гиперболоидъ собранъ изъ 24 уголковъ 3.3. $\frac{1}{4}$ дм., перевязанныхъ шестью горизонтальными кольцами, не считая нижняго опорнаго и верхняго для балокъ резервуара. Діаметръ опорнаго фундаментнаго кольца 25 ф. $3\frac{1}{2}$ дм., верхняго—12 ф. $3\frac{1}{2}$ дм. Самое малое горизонтальное кольцо, третье сверху, имѣетъ діаметръ 10 фут.

Вертикальное разстояніе между фундаментнымъ кольцомъ и слѣдующимъ, а также между 2-мъ и 3-мъ, 3-мъ и 4-мъ—по 7,5 фут.

Размѣры резервуара: діаметръ 14 фут. $5\frac{7}{8}$ дм., а высота 11 фут. $10\frac{3}{4}$ дм., что соотвѣтствуетъ полному объему въ 1957 куб. ф. или 4505 вед. воды, или 3070 [пуд. *)] нефт. остатковъ.

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

Глубина заложения фундамента, считая высоту покоя, около 6,5 футовъ. Фундаментныхъ болтовъ остова 12, каждый діам. 1 дм.



Фиг. 23.

Напорная башня съ резервуаромъ на 3 тысячи пуд. нефт. остатковъ на заводѣ Уральско-Волжскаго Металлургич. О-ва въ Царицынѣ на Волгѣ. (По проекту завода инж. А. В. Вара—въ Москвѣ).

Желѣзная уравнильная 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

$$n = 34 \text{ ф. } 4 \text{ дм.} : 8 \text{ ф. } 9 \text{ дм.} = 3.923$$

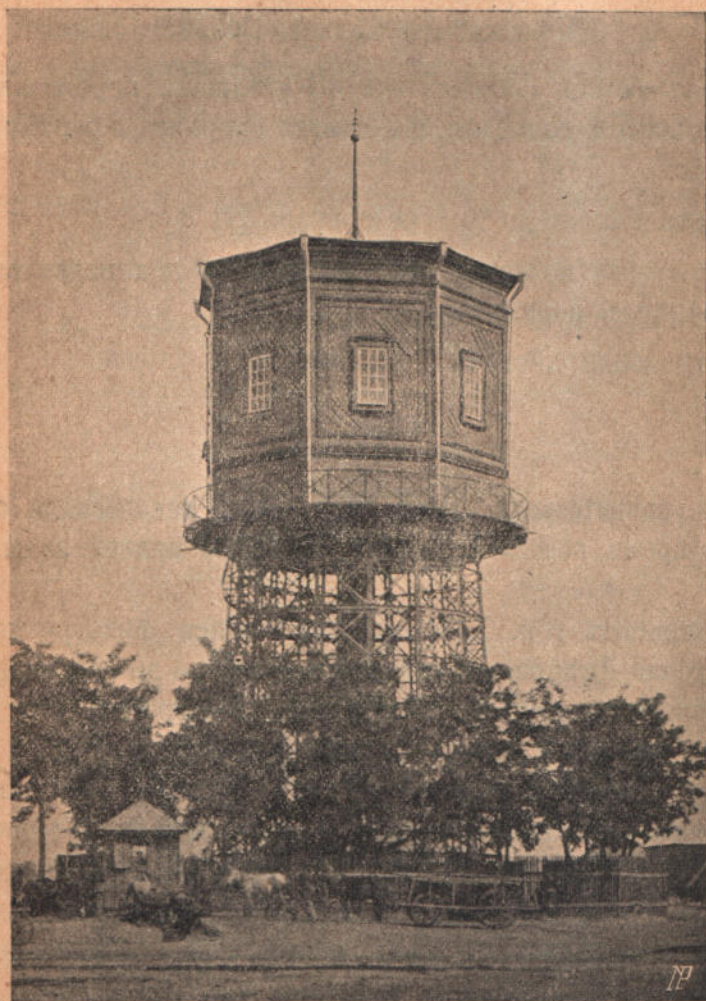
между тѣмъ какъ для другихъ башенъ это отношеніе измѣняется въ предѣлахъ отъ 1,66 до 2,60, что видно изъ слѣдующей таблицы:

Для башни въ гор. Николаевѣ	1,83
„ „ въ гор. Харьковѣ	1,96
„ „ въ имѣніи „Сторожево“ (Рязан. губ.)	2,60
„ „ въ гор. Коломнѣ	2,45

*) 1 пудъ нефт. остатковъ 1,47 ведра.

Вѣсъ 1 куб. фута нефт. остатковъ \approx 1,57 пуд.

Удѣльный вѣсъ нефт. остатковъ 0,91, бакинской нефти 0,87, а керосина 0,82.



Фиг. 24.

Желѣзная уравнильная башня Херсонскаго водопровода.

(По проекту инж. А. И. Лормана).

Для башни на заводѣ Гиварковскаго въ Москвѣ .	1,66
„ „ въ гор. Воронежѣ	1,72
„ „ на зав. Оловянишникова въ Ярославлѣ	1,93
„ „ „ „ Металл. О-ва въ Царицынѣ	2,05
„ „ на трубоч. зав. около г. Самары . . .	2,56
„ „ Московскаго Сельск.-Хозяйст. Инстит.	2,42

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.

Желѣзная уравнительная башня Херсонскаго водопровода съ резервуаромъ полезной емкости на 42500 ведеръ воды.

Водопроводъ гор. Херсона, питающійся фильтрованной водой изъ рѣки Днѣпра, съ самаго основанія и до настоящаго времени принадлежитъ Д. А. Пастухову. Построенъ онъ еще 30 лѣтъ тому назадъ, и теперь развилъ свою эксплуатацію настолько, что въ 1910 году полный годовой расходъ воды выразился почти въ 80 миллионновъ ведеръ, съ максимумомъ суточного разбора въ 350 тысячъ и минимумомъ—100 тысячъ ведеръ воды, обслуживая 35-ти верстной уличной сѣтью магистральныхъ трубъ 65 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 уравнительной башней съ резервуаромъ емкостью въ 42500 вед.

Какъ водопроводъ, такъ и его желѣзная башня были сооружены исключительно изъ свободныхъ запасовъ матеріаловъ

*) Домовыхъ отвѣтвленій въ 1910 году было 1200, т. е. 24% отъ числа всѣхъ 5000 домовладѣній.

чугуно-плавильного и желѣзо-дѣлательнаго завода Д. А. Пастухова въ Сулинѣ.

Въ техническо-конструктивномъ отношеніи остовъ башни Херсонскаго водопровода (фиг. 24) представляетъ собою 16 вертикальныхъ фермъ, или устоевъ, установленныхъ радіально, и перевязанныхъ 7-ю горизонтальными внутренними и 7-ю горизонтальными наружными кольцами (фиг. 25).

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 трапециoidalный 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:

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. 25).

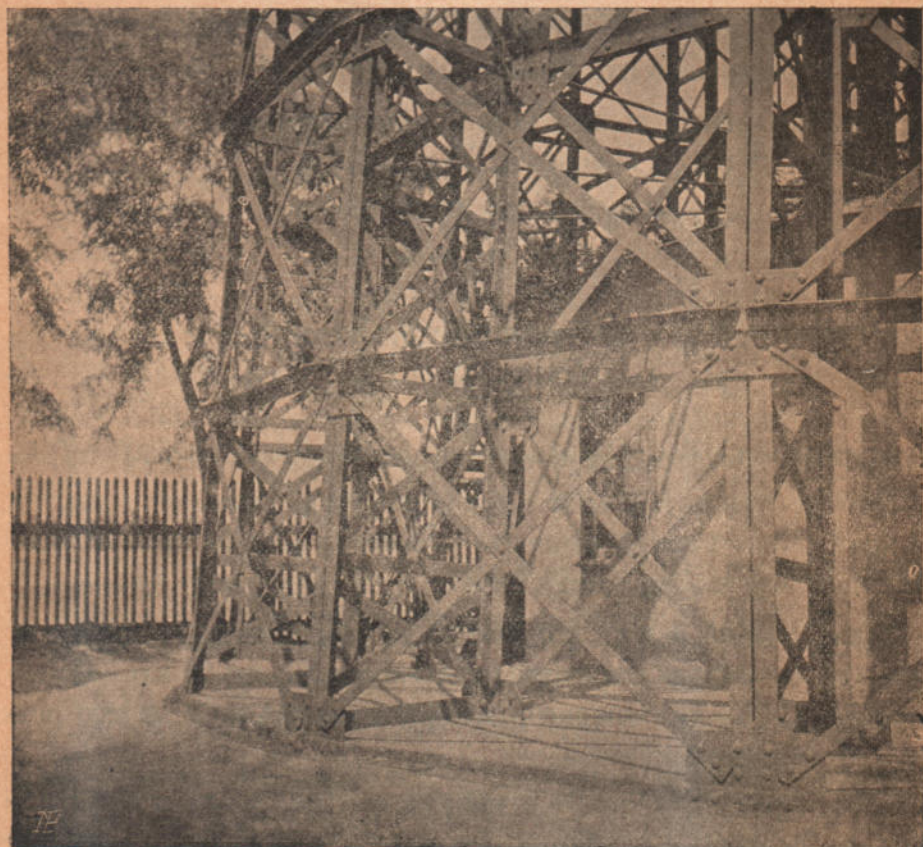
Такой остовъ башни упирается на фундаментъ двумя 16-ти угольными опорными кольцами, состоящими каждый изъ одного уголка $5 \times 3 \times \frac{1}{2}$ дм. Опорныя кольца прикрѣплены къ фундаменту 16 болтами каждый.

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 dna резервуара, ажурная круглая колонна, собранная изъ

16 уголков $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ дм., перевязанных через каждые $1\frac{1}{2}$ арш. горизонтальными кольцами из уголков 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 круглага желѣза. Въ верхней части уголки колонны и устои остова связаны радіально рѣшетчатыми горизонтальными балками, на которыхъ установленъ желѣзный резервуаръ и 8-гранный деревянный павильонъ. Наружные концы этихъ рѣшетчатыхъ балокъ заканчиваются 16-ю консолями, на которыхъ настланъ полъ балкона.

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



Фиг. 25.

Нижняя часть остова желѣзной башни Херсонскаго водопровода.

(Въ 1 : 25 натур. величины).

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 самого верха.

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

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

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

При башнѣ устроена деревянная водоразборная будка.

Все сооруженіе обнесено деревянной оградой, засаженной деревьями (фиг. 24.)

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

Николаевскій городской водопроводъ, питающійся подпочвенной водой при помощи 4-хъ колодцевъ съ подземными водосборными галереями и буровыми 4 дм. скважинами, принадлежит Городскому Общественному Управленію и имѣетъ резервуарную систему подачи воды. Эксплуатация водопровода была начата еще во время его постройки 1 Апрѣля 1906 года.

Въ 1910 году—подача воды изъ дѣйствующихъ колодцевъ достигла почти 70 милліоновъ ведеръ воды въ годъ, при наибольшемъ ея суточномъ разборѣ въ 250 тысячъ и наименьшемъ въ 68 тысячъ ведеръ, обслуживая 110-тысячное населеніе города 73-верстной разводящей сѣтью чугунныхъ трубъ, діам. отъ 3 до 12 дм. при 1700 домовыхъ водопроводахъ.

Вода 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 дя 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. Чумакавъ (фиг. 26 и 37).

Ажурный остовъ башни представляетъ собою гиперboloидъ вращенія, сѣтчатая поверхность котораго собрана изъ 48 стоекъ изъ углового желѣза, профиля $5 \times 5 \times 0,5$ дм. внизу и $4,5 \times 4,5 \times 0,5$

дм. вверху, установленныхъ наклонно, взаимно пересѣкаясь, по образующимъ гиперboloида. Для большей прочности всѣ стойки перевязаны девятью горизонтальными кольцами, тоже изъ углового желѣза. Въ мѣстахъ взаимнаго пересѣченія, всѣ 48 уголковъ и 9 поперечныхъ колецъ склепаны между собою. Такимъ образомъ склепанная сѣтчатая поверхность гиперboloидальнаго остова башни представляетъ 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.

Сообщеніе вершины башни съ поверхностью первой желѣзной площадки находящейся подъ днищемъ резервуара, достигается двумя стремяными лѣстницами, изъ которыхъ одна укрѣплена въ центральной клепанной желѣзной 42 дм. трубѣ (горловинѣ) резервуара, а другая идетъ параллельно его наружной стѣнки (фиг. 26).

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

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

При такихъ размѣрахъ полная емкость этихъ частей резервуара равна:

$$V_1 = 3053,46 \text{ куб. фут.}$$

$$V_2 = 14571,45 \text{ " "}$$

$$V_3 = 4700,72 \text{ " "}$$

$$V_4 = 204,21 \text{ " "}$$

$$\Sigma V = 22529,84 \text{ куб. фут. *)}$$

Такъ какъ отверстіе сигнальной трубы открывается на 1 ф. ниже верха резервуара, то объемъ заполняющійся водой можно принять для расчетовъ максимумъ въ

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

При вычетѣ же объемовъ уголковъ жесткости резервуара, трубъ, внутренней лѣстницы и пр., полезный объемъ воды былъ опредѣленъ въ 51052 ведра воды.

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 отверстиями для заклепокъ—0,6, слѣдовательно дѣйствительное напряженіе не должно превосходить

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

Въ дѣйствительности это напряженіе равно:

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

Чтобы не повторяться далѣе, при разсмотреніи башенъ сист. Шухова, ниже приведемъ по возможности больше данныхъ о Николевской башнѣ, какъ со стороны технической, такъ и эксплуатационной.

*) Емкость центральной горловины резервуара, какъ незаполняющаяся водой, включена 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 давленія 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 проекці боковой поверхности (на плоскость перпендикулярную къ направленію вѣтра). Дѣйствительно:

Площадь проекці 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.

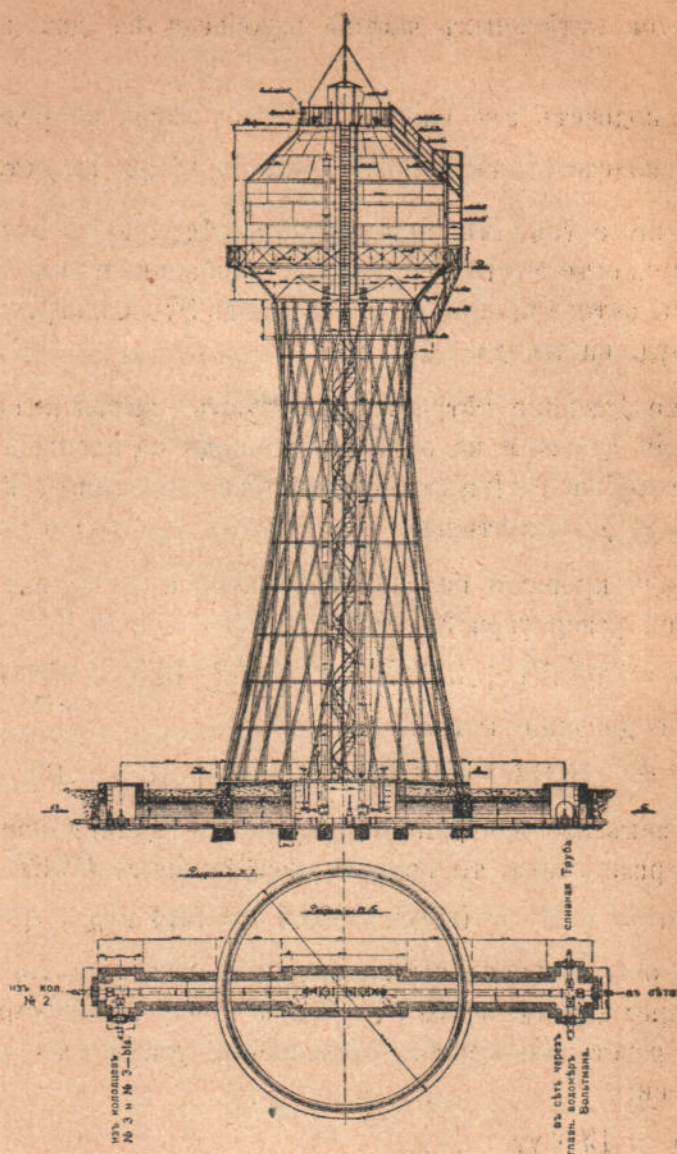
$$P_1 = \alpha \cdot P = 0,667 \cdot 839,01 = 560 \text{ пуд.}$$

Изъ уровненія 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:

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



Фиг. № 26.

Въ $\frac{1}{400}$ натуральной величины.

Желѣзная водонапорная башня Николаевскаго городского водопровода съ гиперболическимъ остовомъ сист. инж. В. Г. Шухова и резервуаромъ Инце—на 50 тысячъ ведеръ воды.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

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

$$P_1 = 1. \frac{5}{12} \cdot 48 = 20 \text{ пуд.}$$

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

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

Для сѣченія, отстоящаго отъ дна резервуара на разстояніи

$$x = 9,3 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot (15 + 9,3) + \frac{18,9 \cdot 3,9 \cdot 3}{2} = 14387 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 9,3 + 7,9 = 17,2 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot (24,3 + 7,9) + 9,17,2 \cdot 17,2 = 20695 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 17,2 + 8,2 = 25,4 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 40,4 + 9,25,4 \cdot 25,4 = 28430 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 25,4 + 8,2 = 33,6 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 48,6 + 9,33,6 \cdot 33,6 = 37377 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 33,6 + 8,2 = 41,8 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 56,8 + 9,41,8 \cdot 41,8 = 47533 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 41,8 + 8,2 = 50 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 65 + 18,41,8 \cdot \left(\frac{41,8}{2} + 8,2 \right) + 20 \cdot \frac{8,2 \cdot 8,2}{2} = 58967 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 50 + 8,2 = 58,2 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 73,2 + 752,4 \cdot (20,9 + 16,4) + 10,16,4 \cdot 16,4 = 71746 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 58,2 + 8,2 = 66,4 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 81,4 + 752,4 \cdot 45,5 + 10,24,6 \cdot 24,6 = 85870 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 66,4 + 8,2 = 74,6 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 89,6 + 752,4 \cdot 53,7 + 10,32,8 \cdot 32,8 = 101338 \text{ пудо-фут.}$$

$$x = 74,6 + 9,4 = 84 \text{ ф.} \quad M = 560 \cdot 99 + 752,4 \cdot 63,1 + 10,42,2 \cdot 42,2 = 120725 \text{ пудо-фут.}$$

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

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

равно:

Для сѣченія на разстояніи: $x=9,3$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{14387}{24.11,5} = 53$ пуд.

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

Для сѣченія на разстояніи: $x=17,2$ ф. $t=\omega$. $R = \frac{20695}{24.11} = 80$ пуд.

гдѣ r радіусъ круга, равный 11 ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=25,4$ ф. $t = \frac{28430}{24.11.25} = 105$ пуд.;

гдѣ $r=11,25$ ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=33,6$ ф. $t=130$ пуд.; гдѣ $r=11,9$ ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=41,8$ ф. $t=155$ пуд.; гдѣ $r=12,8$ ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=50$ ф. $t=175$ пуд.; гдѣ $r=14,1$ ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=58,2$ ф. $t=197$ пуд.; гдѣ $r=15,6$ ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=66,4$ ф. $t=212$ пуд.; гдѣ $r=16,85$ ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=74,6$ ф. $t=223$ пуд.; гдѣ $r=19$ ф.

Для сѣченія на разстояніи: $x=84$ ф. $t=240$ пуд.; гдѣ $r=21$ ф.

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

$$q = \frac{0,750.51359 + 2500 *)}{48} = \infty 855 \text{ пудовъ.}$$

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 каждаго разсматриваемаго сѣченія башни, равно:

$$x = 9,3 \text{ ф. } Q = 53 + 855 + 0,8. 9,3 = 915,44 \text{ пуда.}$$

$$„ = 17,2 \text{ ф. } „ = 80 + 855 + 0,8.17,2 = 948,76 \text{ „}$$

$$„ = 25,4 \text{ ф. } „ = 105 + 855 + 0,8.25,4 = 980,32 \text{ „}$$

$$„ = 33,6 \text{ ф. } „ = 130 + 855 + 0,8.33,6 = 1011,88 \text{ „}$$

$$„ = 41,8 \text{ ф. } „ = 155 + 855 + 0,8.41,8 = 1043,44 \text{ „}$$

$$„ = 50 \text{ ф. } „ = 175 + 855 + 0,8.50 = 1070 \text{ „}$$

$$„ = 58,2 \text{ ф. } „ = 197 + 855 + 0,8.58,2 = 1098,56 \text{ „}$$

$$„ = 66,4 \text{ ф. } „ = 212 + 855 + 0,8.66,4 = 1120,12 \text{ „}$$

*) Собственный вѣсъ резервуара съ лѣстницами и трубами 2500 пудовъ.

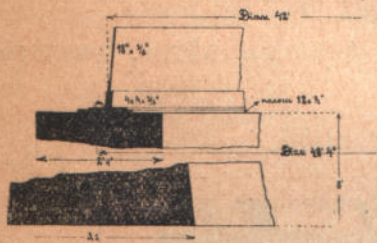
$$x = 74,6 \text{ ф. } Q = 223 + 855 + 0,8 \cdot 74,6 = 1137,68 \text{ пуда.}$$

$$„ = 84 \text{ ф. } „ = 240 + 855 + 0,8 \cdot 84 = 1162,20 \text{ „}$$

Разсматривая уголки остова, как отдѣльно стоящія стойки, подвергающіяся продольному изгибу, при свободной длинѣ, равной въ каждомъ случаѣ вертикальному разстоянiю x , между горизонтальными кольцами, вводимъ коэффициентъ уменьшенiя основнаго напряженiя 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 сжатiи стойки съ незакрѣпленными концами; въ разсматриваемомъ случаѣ при цѣлыхъ уголкахъ и закрѣпленiи ихъ при пересѣченiи горизонтальными кольцами, отдѣльную часть длины уголка остова можно разсматривать, какъ стойки съ закрѣпленными концами и дѣйствительное напряженiе поперечнаго сѣченiя уголка будетъ значительно менѣе опредѣленнаго.



Фиг. 27.

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

Таблица допускаемыхъ и дѣйствительныхъ напряженiй въ уголкахъ остова башни.

№ сѣченiя	Коэффиц. φ	l въ дюйм.	Площадь поперечнаго сѣченiя уголка: ω въ кв. дм.	Моментъ инерцiи сѣченiя I	Коэф. φ	Допускаемое напряженiе въ пуд. на кв. дм.		Дѣйствительное напряженiе въ пуд. на кв. дм.		Запасъ напряженiя въ столбахъ, въ пуд. на кв. дм.	
						R.	φ	Q	ω		
1	0,00008	93,12	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 этой 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.

Весь остовъ водонапорной башни прикрѣпленъ къ опорному клепанному кольцу, закрѣпленному къ фундаменту 24 болтами діам. $1\frac{1}{8}$ дм, (фиг. 27 и 28).

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

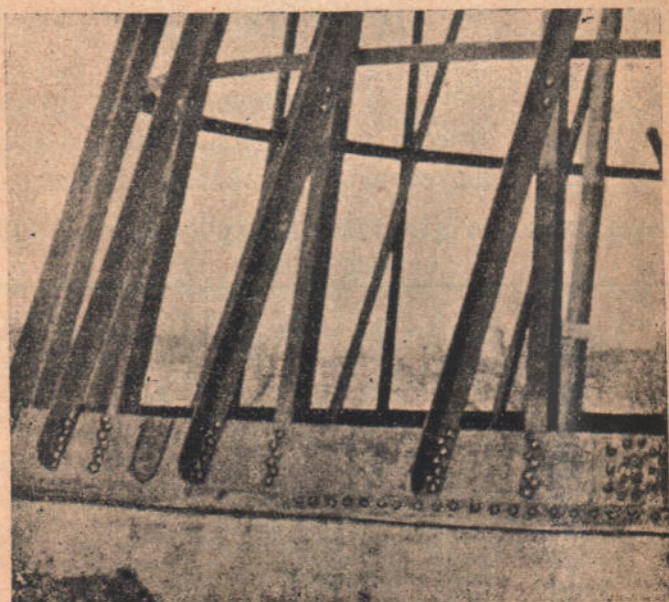
$$3225 + 2500 + 300 = 6025 \text{ пудовъ.}$$

Моментъ отъ вѣса башни (фиг. 27)

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

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

Коэффициентъ устойчивости башни 1.056.



Фиг. 28.

Опорное желѣзное клепанное кольцо остова Николаевской башни.

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

$$K = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 236 = \frac{3.14 \cdot 1^{1/8} \cdot 1^{1/8} \cdot 236}{4} = 234,5 \text{ пудовъ.}$$

Какъ видно изъ фиг. 27-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 усилію 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. 27).

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

а въсь:

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

Наибольшее возможное давленіе на 1 кв. дм. грунта.

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

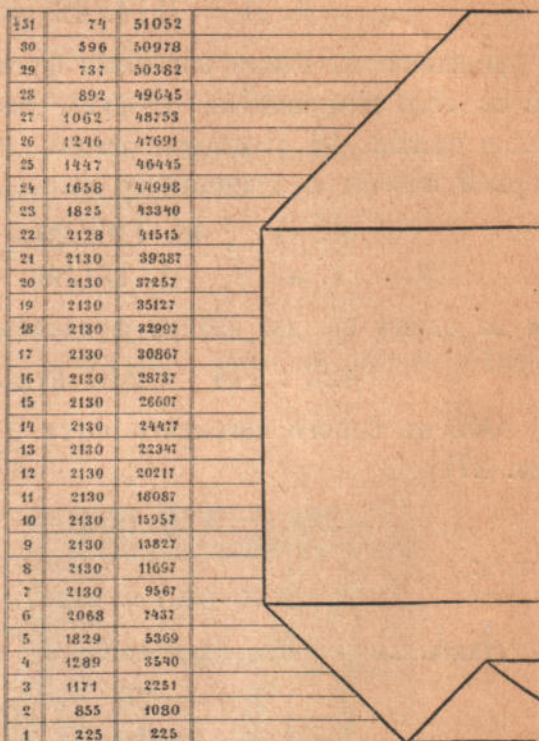
2 Оборудование башни.

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. Последніе приборы заключаются:

1) Въ дубовомъ, составленномъ изъ трехъ осмоленныхъ дисковъ, поплавокъ съ цѣпью, передаточными роликами и желѣзнымъ уравновѣшивающимъ поплавкомъ грузомъ, передвигающимся, по

мѣръ измѣненія уровня воды въ резервуарѣ, по вертикально-установленной измѣрительной шкалѣ. Шкала раздѣлена на 31 дѣленіе, каждое дѣленіе равно одному футу (фиг. 29).

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

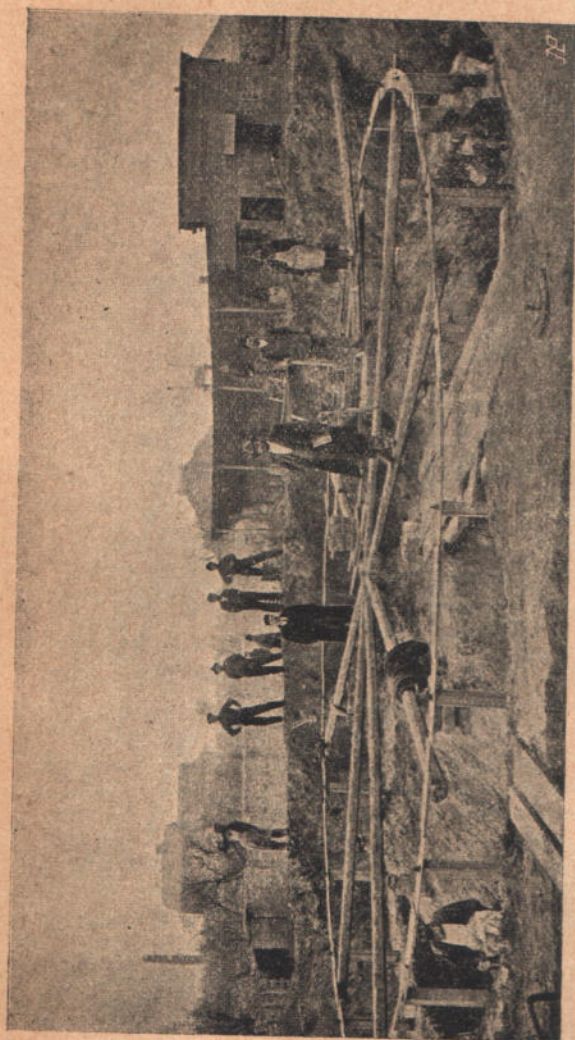


Фиг. 29.

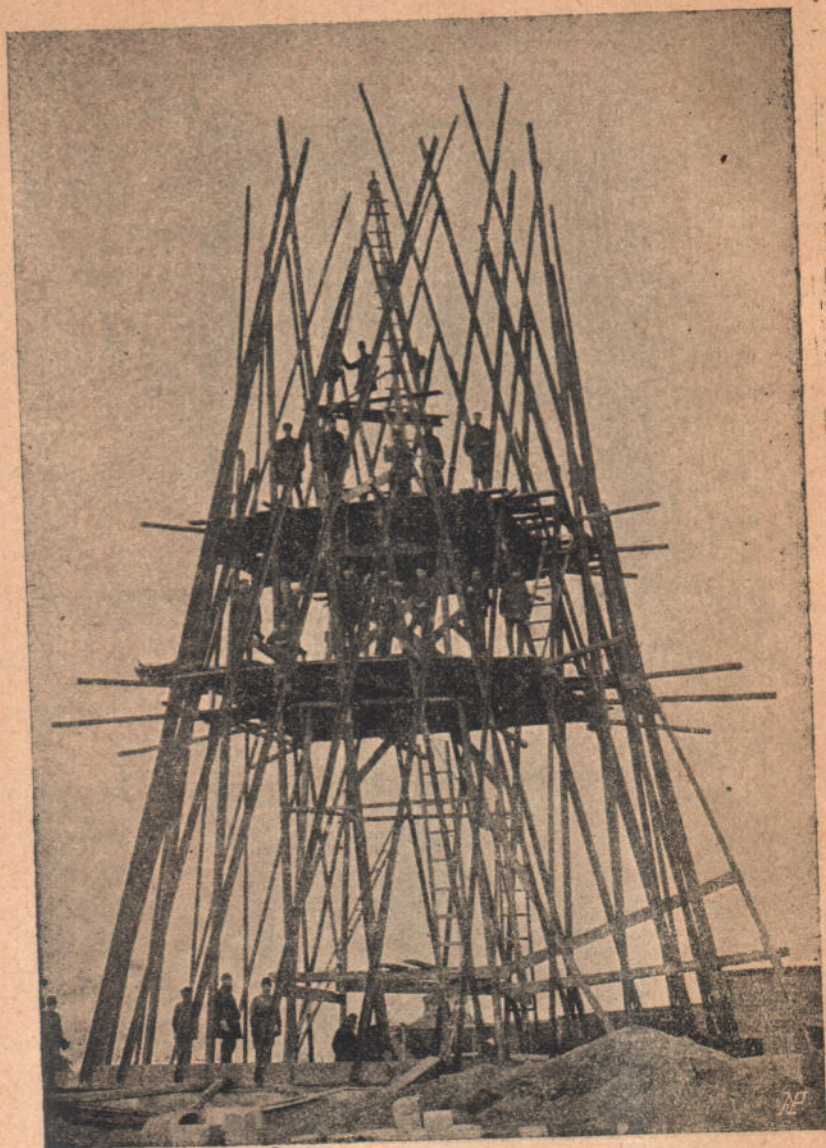
Градуированіе резервуара Николаевской башни.
(1-й рядъ—футы, 2-й и 3-й—ведра).

4) Въ электрическомъ сигнализаторѣ измѣненія уровня воды въ резервуарѣ патента „Л. М. Эриксонъ и К^о“ съ диаграммнымъ автоматическимъ регистраторомъ, установленномъ за 2 версты отъ башни, въ машинномъ зданіи городской электрической освѣтительной станціи, отъ агрегатовъ которой подается

*) 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. 30.
Разбивка фундаментного кольца водонапорной башни Николаевского городского водопровода
1906 г.

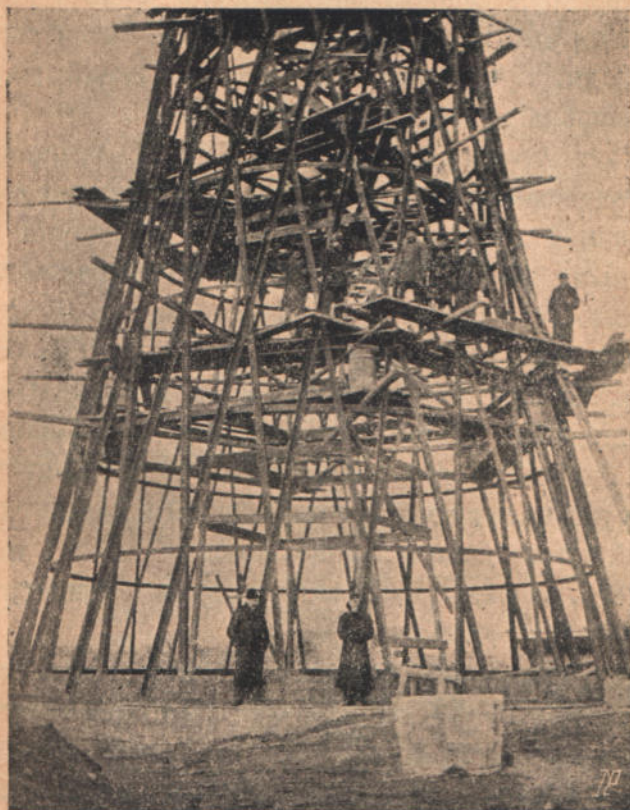


Фиг. 31.

Предварительная сборка на болты остова башни Николаевского водопровода
1906 г.

энергія къ моторамъ электрическихъ центробѣжныхъ насосовъ колодцевъ водопровода.

Что касается трубъ башни, то вначалѣ предполагалось одна 12 дм. желѣзная труба, которая должна была служить, какъ для нагнетанія изъ колодцевъ воды, такъ и для отвода ея въ разводящую сеть трубъ города.



Фиг. 32.

Сборка нижней части остова и горизонтальных колецъ башни Николаевского водопровода.

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

блѣзныхъ насосовъ высокаго давленія, работающихъ экономично т. е. съ нормальнымъ коэффициентомъ полезнаго дѣйствія, только при постоянномъ напорѣ и при постоянной скорости вращенія своихъ турбинъ.

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

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

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

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

Принимая въ соображеніе нагрузку башни, при наполненіи до верха водою резервуаръ, въ 38512 пуд., можно съ достаточной точностью подсчитать на основаніи данныхъ сопротивленія матеріаловъ, что удлиненіе прямо-пропорціоально нагрузкѣ

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

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

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

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

Полная деформація башни лѣтомъ отъ нагрѣванія и нагрузки:

$$11,2 + 10,4 = 21,6 \text{ м.м.}$$

Если температуру остова зимой допустить $- 20^\circ \text{ Ц.}$; то разность температуръ трубъ и остова будетъ:

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

а линейное расширеніе ногъ башни

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

Полная деформація башни зимой отъ охлажденія и нагрузки будетъ:

$$11,2 + 9,5 = 20,7 \text{ милл.}$$

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

3. Электрический указатель измѣненій уровня воды въ резервуаръ башни.

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

готовъ, достигнуть автоматической сигнализацией, соединяющей башню съ распределительной доской станціи.

Указатель уровня воды въ башнѣ Николаевского водопровода установленъ системы „Л. М. Эриксонъ и К^о“.

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

Этотъ указатель соединенъ съ индукторомъ резервуара двумя проводами и землей.

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

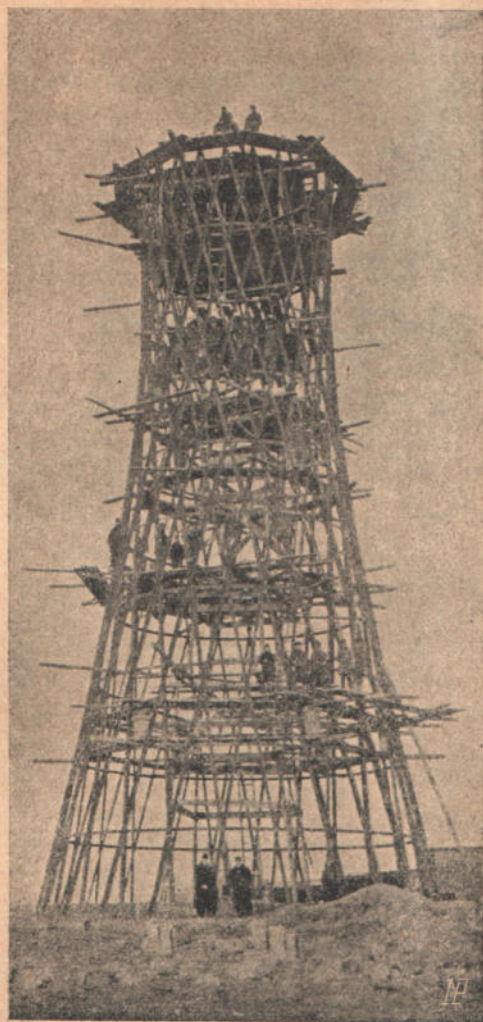
Всякое измѣненіе уровня воды въ резервуарѣ вызываетъ движеніе поплавка, передаточной цѣпи Галля и поднятіе специальныхъ кулаковъ индуктора до опредѣленнаго предѣла, послѣ котораго кулаки индуктора, освобождаясь отъ специального зацѣпленія, падаютъ на коженныя подушки и при своемъ паденіи вызываютъ вращеніе 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 сопаденіи подвижной стрѣлки съ одной изъ неподвижныхъ—подается звонкомъ сигналъ.

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

Подобная электрическая сигнализациія функционируетъ на Московскомъ, Рижскомъ и Полтавскомъ водопроводахъ.

Полная стоимость этихъ приборовъ, съ 2-хъ верстовой линіей воздушныхъ проводовъ, включая деревянные столбы на рельсовыхъ основаніяхъ—въ Николаевѣ составляетъ около 1200 руб.

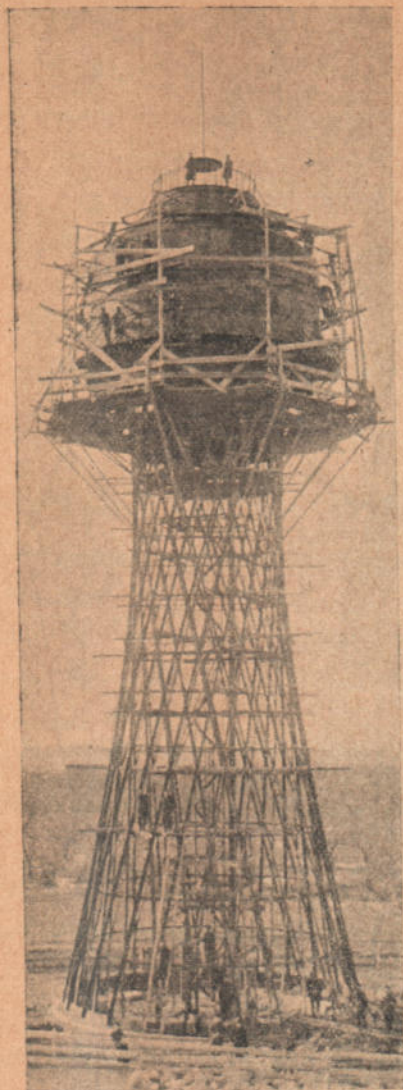


Фиг. 33.

Окончаніе сборки остова башни Николаевского
Городского Водопровода.

1907 г.

Въ Полтавѣ-же, не считая монтажа и столбовъ для воздуш-
ной линіи въ 350 саж., но съ алюминіевыми проводами, изоля-
торами и всѣми принадлежностями линіи—подобная сигнализациа
обошлась въ 690 руб.



Фиг. 34.

Окончание работ по установке и сборке резервуара сист. Инце, емкостью в 50 тысяч ведер, на остове башни Николаевскаго городского водопровода.

1907 г.

4. Водонепроницаемая фундаментная галлерей башни.

Когда выяснилась система присоединения нагнетательных труб.—8-дм. отъ колодцев № 2 и № 5 и 10 дм. трубы—отъ колодцев № 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 своими 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-ти дм. кольцевую магистраль сѣти и одну 5-ти дм. сливную трубу.

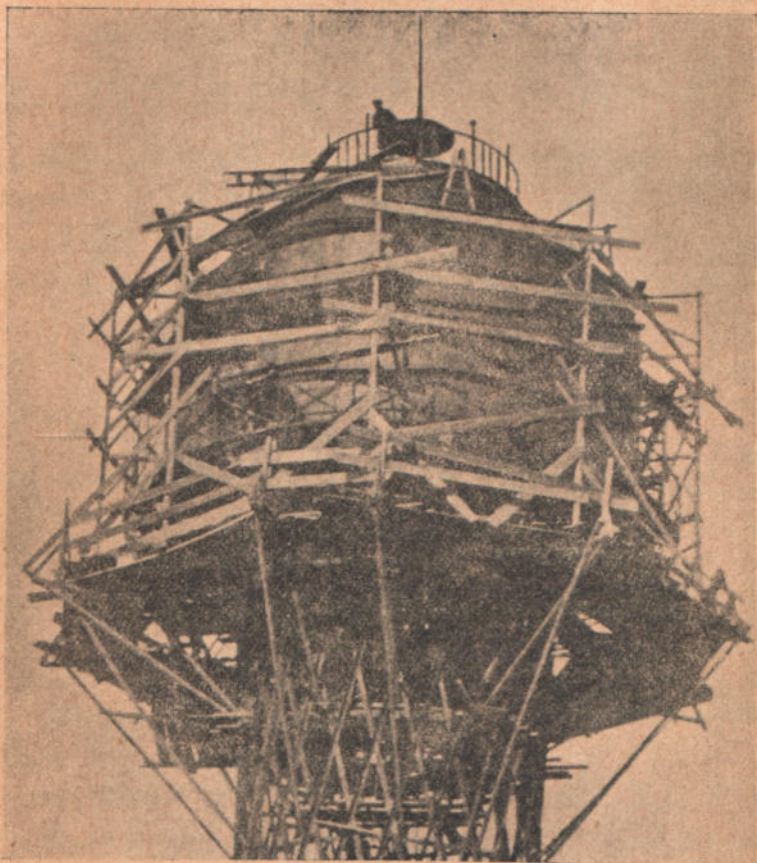
Принимая во вниманіе, что вся система трубъ подъ башней, между указанными узлами, представляетъ собою одно изъ самыхъ отвѣтственныхъ мѣстъ водопроводной сѣти, черезъ пять мѣсяцевъ послѣ открытія башни,

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. 36).

Галерея, какъ и резервуаръ башни—освѣщается электричествомъ.

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

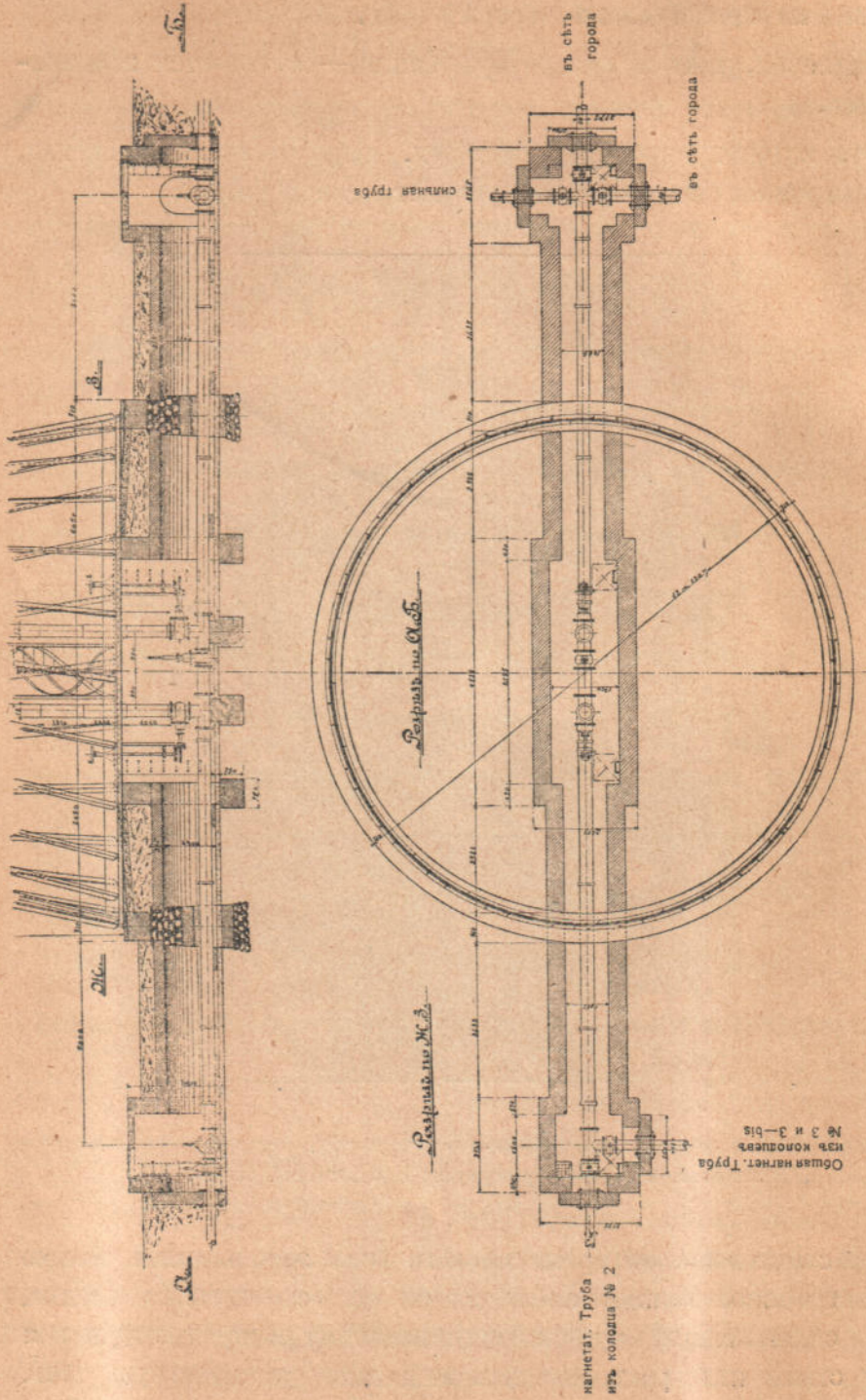


Фиг. 35.

Рѣштованіе и подмости резервуара Николаевской башни.

1907 г.

Дѣйствительно, во время перваго года эксплуатаціи только что построенной башни наблюдалось ея естественная осадка, которая сильно вліяла на проходящія подъ ней распределительныя трубы: стыки ихъ растривались и давали значительную течь. При отсутствіи водонепроницаемой галереи—эта течь трубъ у



Фиг. 36.

Водонепроницаемая фундаментная галерея водонапорной башни Николаевского городского водопровода.

подошвы фундамента башни не была-бы своевременно обнаружена и какъ подмывъ подошвы кольцевого фундамента башни, такъ и всѣ серьезныя послѣдствія, связанныя съ этимъ явленіемъ, были бы неизбѣжны.

Изъ прилагаемаго чертежа (фиг. 36) 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 колодезь *подъ башней, минуя ея резервуаръ*.

Кромѣ того, двѣ главныя горизонтальныя задвижки, на нагнетательной и разводящей трубахъ, отрываются 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 передача 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 Вольмана, со счетчикомъ патента Мейнеке, калибра въ 200 м.м.

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

*) Водомѣръ Вольмана включенъ на томъ отвѣтвленіи разводящей трубы, которое (на фиг. 36-й) расположено противоположно 5 дм. сливной трубѣ, другое-же отвѣтвленіе, подъ прямымъ угломъ къ сливной трубѣ, пока выключено изъ сѣти соответствующей задвижкой.

(На фиг. 36-й вмѣсто «сливная труба» надо читать «сливная» труба).

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

Вся эта система помѣщена въ сухомъ колодеѣ

($0,80 \times 0,80 \times 1$ саж.),

устроенномъ около водонепроницаемой галереи, (на фиг. 36—этотъ колодець не показанъ), и составляетъ какъ бы боковое, восточное, ея продолженіе.

Подобная установка водомѣра даетъ возможность провѣрить его въ каждый моментъ, такъ какъ каждая единица высоты емкости резервуара башни извѣстна, а именно:

1 футъ высоты цилиндрической части резервуара соответствуетъ 2130 вед. *), а 1 дм.—177,5 вед.

Въ свою очередь этотъ водомѣръ башни, регистрирующий общій расходъ воды, поступающей въ сѣть города, вмѣстѣ съ контрольными вольтъ-амперъ-метрами электрическихъ насосовъ колодцевъ позволяетъ опредѣлять въ каждый моментъ ихъ коэффициенты полезнаго дѣйствія и, слѣдовательно, производительность.

Такъ какъ при водомѣрѣ 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 или даже умышленныхъ несчастныхъ случаевъ во время посѣщенія балконовъ башни посторонними лицами—все мѣсто около башни, площадью 450 кв. саж., окружено каменной оградой, частью съ желѣзной рѣшеткой, съ желѣзными воротами и калиткой.

Дворъ засаженъ растительностью. Освѣщается электричествомъ.

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

Благодаря элементарнымъ соображеніямъ гигиены, которая не рекомендуетъ, во избѣжаніе заноса заразы, устраивать при резервуарахъ съ запасомъ питьевой воды жилыхъ помѣщеній,—небольшой домъ для сторожа построитъ совершенно отдѣльно отъ башни.

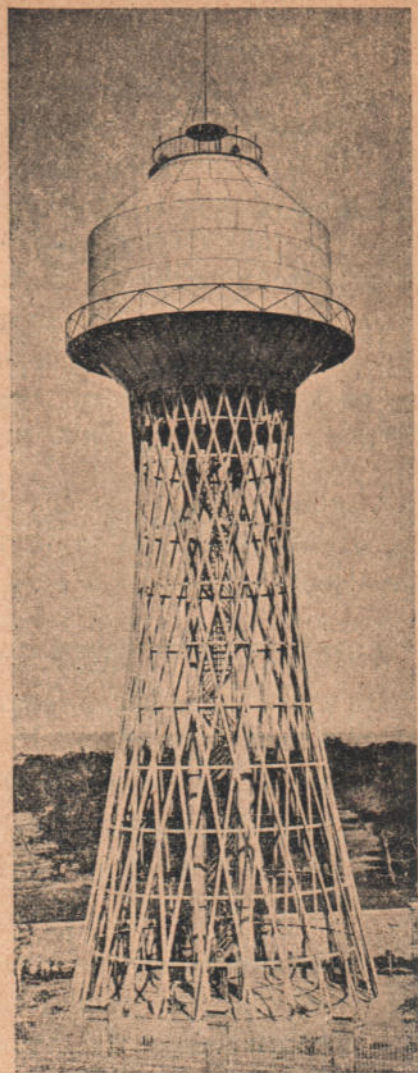
Б. Постройка башни.

Въ концѣ іюля 1906 года собраніе Николаевской городской Думы утвердило подрядъ на сооруженіе желѣзной башни системы инж. В. Г. Шухова за Московскимъ заводомъ А. В. Бари, съ которымъ былъ заключенъ договоръ 1 Августа 1906 г. Заводъ инж. А. В. Бари принялъ на себя обязательство построить башню въ пяти-мѣсячный срокъ, при техническомъ надзорѣ инженеровъ города, за свой счетъ и рискъ, изъ своихъ матеріаловъ и своими рабочими.

Послѣ окончательной приѣмки законченной сооруженіемъ башни, на владѣльцѣ завода оставалась отвѣтственность за прочность сооруженія втеченіе двухъ лѣтъ и если за это время будутъ обнаружены какіе-либо недостатки въ качествѣ матеріала и въ работахъ по сборкѣ башни, не исключая и фундамента, то заводъ обязывался устранить ихъ, послѣ соответствующаго извѣщенія, въ назначенный городомъ срокъ. Въ противномъ случаѣ городъ долженъ былъ-бы производить исправленія за счетъ завода. Въ обезпеченіе исправнаго выполненія работъ, заводомъ былъ внесенъ Городскому Общественному Управленію соответствующій денежный залогъ.

На мѣстѣ закладки каменнаго фундамента башни были сдѣланы городомъ изслѣдованія почвы, посредствомъ буренія развѣдочныхъ скважинъ, которыя обнаружили слой хорошаго сухого песка мощностью до 5 саж. и съ 5 до 7.23 саж.—слой разной глины съ пескомъ, т. е. основаніе вполне надежное для всякаго тяжелаго сооруженія.

Въ октябрѣ 1906 года заводъ приступилъ къ разбивкѣ и устройству каменнаго фундамента подъ основное опорное кольцо (фиг. 30) остова башни и параллельно съ ходомъ работъ доставлялъ въ Николаевъ желѣзныя части башни.



Фиг. 37.

Желѣзная водонапорная башня Николаевского Городского Водопровода съ гиперболоидальнымъ остовомъ сист. инж. В. Г. Шухова и резервуаромъ Инце—на 50 тысячъ ведеръ воды.

(Построена Московскимъ заводомъ инж. А. В. Бари, по проекту инж. В. Г. Шухова).

Послѣ установки на фундаментъ желѣзнаго кольца башни, постепенно устанавливались *на болты* стойки остова съ соответствующими горизонтальными кольцами (фиг. 31 и 32).

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. 31-ю). На площадкѣ устанавливается 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. 31-й, на второй площадкѣ можно усмотрѣть лѣстницу раскоса копра, а на фиг. 32, 33, 34 и 35-й—постепенную сборку башни.

Вся башня, до установки резервуара, была собрана на болты и только при завершеніи остова постепенно снизу болтовые соединенія замѣнялись постоянными заклепочными швами.

Вслѣдствіе точной размѣтки заводомъ заклепочныхъ отверстій, сборка башни была произведена на столько скоро, что въ январѣ 1907 года, не смотря на холодную погоду и сильные вѣтры, была закончена склейка остова и начата сборка резервуара, а 15 марта 1907 г. башня съ резервуаромъ и всѣми необходимыми трубами, кромѣ окраски *) и постановки изоляціи на 12 дм. трубахъ, была совершенно закончена и послѣ произведеннаго испытанія на плотность швовъ резервуара принята городомъ и включена въ общую сѣть дѣйствовавшаго водопровода.

Устройство фундаментной водонепроницаемой галлерей башни, установка электрическаго сигнализатора съ устройствомъ линіи проводовъ между башней и электрической станціей, а также устройство ограды, жилого дома и др. мелкихъ установокъ оборудованія башни—произведены городомъ хозяйственнымъ

*) Остовъ башни и резервуаръ окрашены сѣрой (gris de perle) краской, внутренняя поверхность резервуара—желѣзнымъ сурикомъ.

способомъ, при мелкихъ раздробительныхъ подрядахъ, въ разное время 1907 и 8 г.г.

7. Основныя достоинства башни.

Заканчивая полное разсмотрѣніе водонапорной башни Николаевского городского водопровода, можемъ въ краткихъ словахъ пояснить, что она:

1) Совершенно освобождена, изъ соображеній общественной гигиены и санитаріи, отъ всякихъ жилыхъ при ней помѣщений, постоянныхъ наблюдательныхъ пунктовъ надъ резервуаромъ *) и проч.

2) Не требуетъ зимой никакого отопленія и даже утепленія резервуара, при помощи навильона или другой какой-либо рубашки, такъ какъ вслѣдствіе естественной циркуляціи охлаждающіяся частицы воды изъ резервуара уходятъ первыми въ разводящую трубу съѣти. Кроме того, благодаря подпочвенной тепловой 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.

3) 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.

4) 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.

5) За 10 лѣтъ 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.

*) 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.

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.
$a_2 = 1000$	" "	$0,60$	" "	2 " "
$a_3 = 1000$	" "	$0,60$	" "	3 " "
$a_4 = 1200$	" "	$0,72$	" "	4 " "
$a_5 = 3200$	" "	$1,93$	" "	4 ч. у. " 5 ч. утра
$a_6 = 5700$	" "	$3,44$	" "	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. ночи.

Часовые-же разборы воды, a_7 a_8 a_{18} , a_{19} , т. е. начиная съ 6 ч. утра до 7 ч. вечера, болѣе средняго часового разбора a_m , который равенъ

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

*) См. отчетъ по эксплуатаціи Николаевского Городского Водопровода за 1908—1909 гг. (изд. 1910 г. стр. 85).

Нормальная формула расчета резервуара водонапорной башни, въ зависимости отъ суточного потребления воды, имѣеть видъ:

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

Здѣсь m — число открытых пожарныхъ гидрантовъ,

b — количество часовъ непрерывной работы гидрантовъ, и q — среднее количество воды, подаваемое въ часъ черезъ каждый пожарный гидрантъ.

Число открытых пожарныхъ гидрантовъ обыкновенно принимаютъ шесть, при непрерывной ихъ работѣ отъ часа до двухъ часовъ. Въ Николаевѣ, какъ въ городѣ, окруженномъ почти со всѣхъ сторонъ водой рѣкъ Буга и Ингула и въ которомъ по своей разбросанности по полуострову пожары бываютъ незначительные и сравнительно не часто, число одновременно открытых гидрантовъ обыкновенно не превышаетъ четырехъ, что и принимаемъ для нашего подсчета.

Среднее количество воды, подаваемое каждымъ 3 дм. гидрантомъ въ часъ — можно допустить равнымъ 1290 ведр. въ часъ *)

Подставляя эти данныя въ основную формулу, находимъ, что полезный объемъ резервуара башни долженъ быть въ настоящее время не менѣе

$$V = [11 \cdot 4,6 - (0,90 + 0,60 + 0,60 + 0,72 + 1,93 + 3,44 + 3,81 + 3,44 + 2,23 + 1,70 + 0,97)] \cdot \frac{165000}{100} + 4 \cdot 2 \cdot 1290 = 41943 + 10320 = 52263 \text{ ведра.}$$

Изъ этого расчета видно, что пока водонапорная башня, въ смыслѣ вмѣстимости своего резервуара, при существующемъ способѣ подачи воды въ него — удовлетворяетъ своему назначенію.

При открытіи-же канализаціи, хотя-бы въ одной главной части города расходъ воды изъ сѣти въ первый-же годъ значительно увеличится и городу придется обосновать непрерывность водоснабженія на способѣ питанія сѣти съ двухъ концовъ, при

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

помощи уравнильной контръ-башни съ резервуаромъ емкостью не менѣе 35 тысячъ ведеръ воды и съ наивысшимъ уровнемъ воды въ немъ нѣсколько ниже такового въ водонапорной башнѣ.

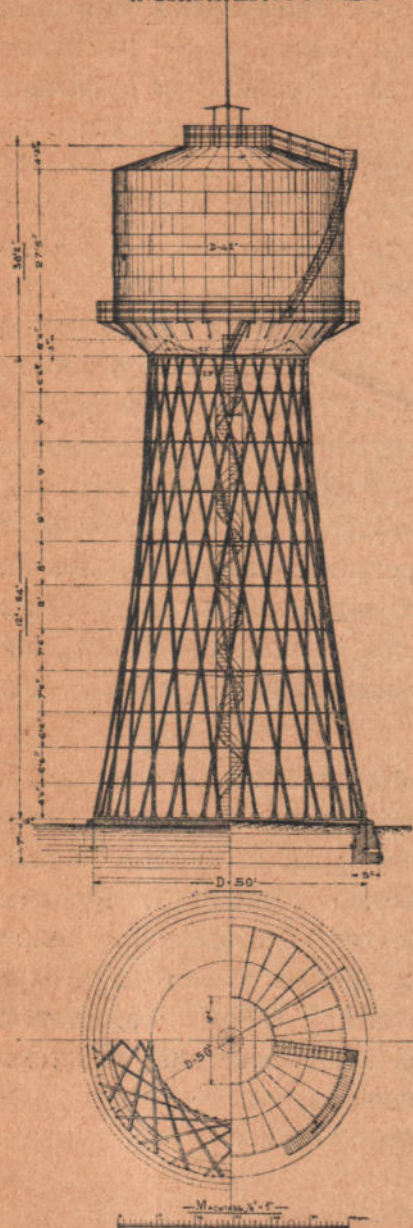
Принимая во вниманіе, что въ настоящее время, при среднемъ часовомъ разборѣ воды изъ сѣти только въ 8—10 тысячъ ведеръ, манометрическое давленіе въ магистраляхъ, на возвышенныхъ мѣстностяхъ и удаленныхъ отъ башни пунктахъ сѣти, падаетъ до 2 атмосферъ, то даже теперь установка контръ-башни является своевременной. Необходимость въ этомъ еще болѣе подтверждается при оборудованіи сѣти трубъ города почти 400 пожарными гидрантами. Вотъ почему для города Николаева контръ-башня даже теперь представляется экономически весьма выгодной, ибо резервуаръ контръ-башни, наполняясь въ часы небольшого разбора воды изъ сѣти, во время усиленнаго ея разбора обращается самъ въ водоемъ, питающій сѣть со стороны, противоположной главному водонапорному резервуару, благодаря чему является возможность увеличить пропускную способность существующей сѣти и болѣе рационально регулировать работу электрическихъ центробѣжныхъ насосовъ въ зависимости отъ агрегатовъ электрической станціи, посылающей къ нимъ требуемую энергію и въ зависимости отъ часовъ наибольшаго разбора воды изъ сѣти водопровода.

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

Водонапорная башня

СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРА ШУХОВА

СЪ РЕЗЕРВУАРОМЪ ЕМКОСТИ 100.000 ВЕДЕРЪ



Фиг. 38.

Желѣзная водонапорная башня Воронежскаго городского водопровода съ резервуаромъ полезной емкости въ 100 тыс. вед. воды.

Воронежскій водопроводъ построенный 49 лѣтъ тому назадъ частнымъ лицомъ, теперь принадлежитъ городскому обществу Управленію. Источники—подпочвенная вода, которая добывается помощью 17 водосборныхъ Бруклинскихъ колодезь. Вода аэрируется и фильтруется. Система водоснабженія резервуарная съ подъемомъ воды.

Въ 1910 году сѣтъ разводящихъ трубъ достигала 40 верстъ, съ 1010 частными отвлѣченіями, обслуживая 30 тыс. население города. Расходъ воды 112 милліоновъ ведеръ въ годъ, наибольшій въ сутки 450 тыс., наименьшій—170 тыс. вед. воды.

По мѣрѣ развитія водопотребленія Воронежскій водопроводъ перестраивался и расширялся начиная съ 1873 года.

Въ настоящее время также выполняется программа дальнѣйшаго расширенія водопровода и заканчивается постройка желѣзной водонапорной башни сист. инж. Шухова (фиг. 38).

Основные резервуары башни слѣдующіе:
Высота остова 12 саж.

Диаметръ опорнаго фундаментнаго кольца 50 футовъ, верхняго — (базы подь резервуаръ) 29 футъ.

Резервуаръ системы Инце внутренняго диаметра въ 42 фут. и полной высоты 38 фут. 2 дм. Резервуаръ изъ трехъ частей:

- | | | | | | | |
|---------------------------|---|--------|----|------|---|-----|
| 1) нижняя конусообразная | — | высота | 6 | фут. | 6 | дм. |
| 2) цилиндрическая | " | " | 27 | " | 5 | " |
| 3) верхняя конусообразная | " | " | 4 | " | 3 | " |

Полная высота 38 фут. 2 дм.

По емкости резервуара эта башня является въ настоящее время самой большой *гиперболоидальной* башней.

—————

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

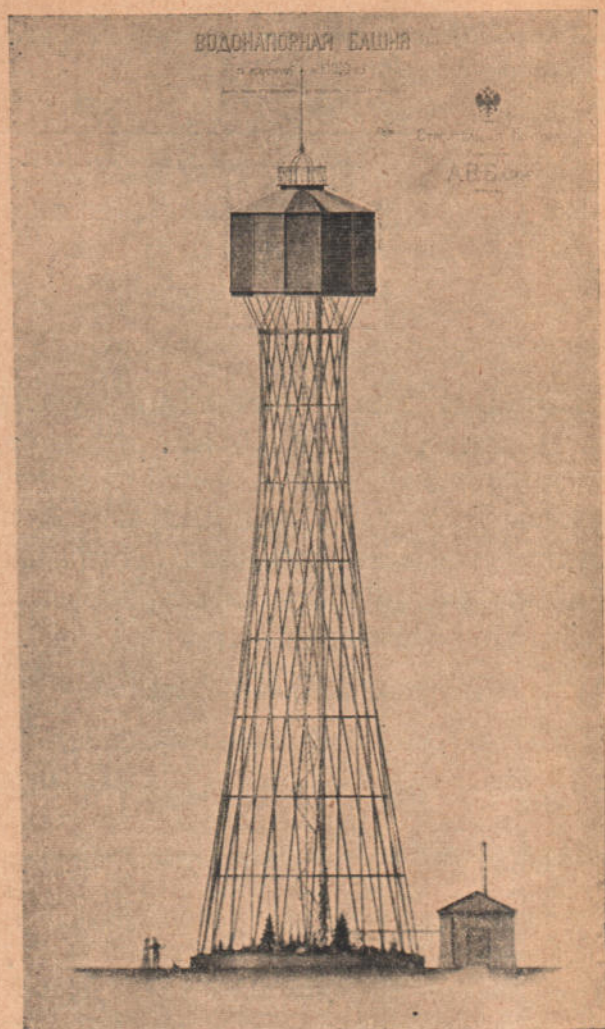
Водоснабженіе города Коломны совершается подпочвенной водой изъ двухъ артезианскихъ скважинъ, глубиной 57,4 саж.; водопроводъ имѣетъ резервуарную систему подачи воды и принадлежитъ Городскому Общественному Управленію.

Эксплоатація водопровода производится съ 1902 года.

Въ 1910 году насосы водопровода подняли въ сѣть городскихъ трубъ 13 милл. ведеръ воды, при наибольшемъ ея суточномъ разборѣ въ 85 тыс. и наименьшемъ—22 тыс. ведеръ, обслуживая въ общемъ 80% отъ 30-ти тысячнаго населенія города.

Уравнительная башня, включенная въ замкнутую водопроводную сѣть, желѣзная—системы инж. В. Г. Шухова (фиг. 39—40-я).

Остовъ башни состоитъ изъ 24 уголковъ и собранъ какъ гиперболюидъ вращенія, перевязанный 8-ю горизонтальными кольцами. Размѣръ сѣченія уголка остова у основанія 150×150×16 м.м., въ срединѣ—120×120×15 м.м. и у вершины 120×120×12 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.



Фиг. 39.

Уравнительная башня Коломенского городского водопровода.

Фотогр. снимокъ съ проекта башни инж. В. Г. Шухова.

Въ 1 : 425 натур. величии.

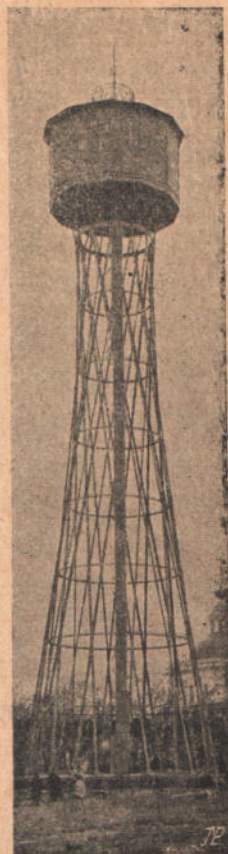
Высота башни от линии обрѣза цоколя фундамента до дна резервуара 120 футъ, разстояніе-же между дномъ и первымъ горизонтальнымъ кольцомъ остова башни—8 футовъ.

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 футъ, 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 громоотводъ.

Начата и закончена сооруженіемъ въ 1902 году.



Фиг. 40.

Желѣзная уравнильная 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. 41)

Гиперболоидальный остовъ башни состоитъ изъ 24 стоекъ углового желѣза профиля $4 \times 4 \times \frac{3}{8}$ дм; перевязанныхъ 8-ю горизонтальными кольцами. Разстояніе между кольцами 7 футъ, за исключеніемъ такового между 7-мъ и 8-мъ кольцомъ, гдѣ оно рав-

но 4,5 фут. Разстояніе-же между 8-мъ кольцомъ и уголкою жесткости нижней цилиндрической части резервуара 2,5 ф. Такимъ образомъ высота башни, считая отъ подола фундамента до цилиндрической части резервуара равна:

$$H = 7 \times 7 + 4,5 + 2,5 = 56 \text{ ф.} = 8 \text{ саж.}$$

Опорное кольцо остова имѣеть діаметръ 30 фут. и закрѣплено къ фундаменту 24 болтами діаметра 1 дм. и длиной 5 футовъ.

Окружность расположенія центровъ этихъ болтовъ имѣеть діам. 30 ф. 4 дм.

Фундаментъ башни заложенъ въ грунтъ на глубину 6 футовъ, полная же высота фундамента (съ подоламъ) 7 футовъ.

Желѣзный резервуаръ башни со сферическимъ провиснымъ днищемъ слѣдующихъ размѣровъ:

Діаметръ $d = 18$ ф.; высота цилиндрической части (изъ 4 вѣнцовъ листового желѣза) — $h = 15$ ф. 4 дм.; стрѣла днища $f = 3$ ф. При такихъ размѣрахъ полная емкость резервуара равна $\infty 10000$ ведеръ.

Первоначально предполагалось резервуаръ башни закрыть обыкновеннымъ деревяннымъ павильономъ, въ дѣйствительности-же, какъ указано на фиг. 41, 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.

Крыша резервуара изъ кровельнаго желѣза на деревянныхъ стропилахъ. Подобное устройство 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. 41.

Вѣсъ всего сооруженія 1100 пудовъ, слѣдовательно коэффициентъ легкости

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

Стоимость башни—5000 р., что составляетъ 4 р. 54 к. съ пуда.



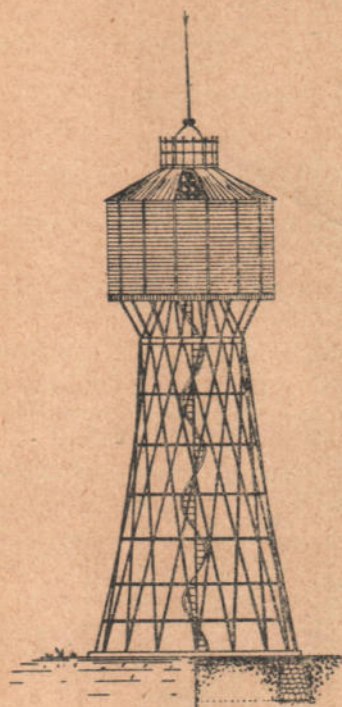
Фиг. 41.

Желѣзная уравнильная башня водопровода на заводѣ Б. А. Гивар-
товскаго въ Москвѣ.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

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

Желѣзная башня заводскаго водопровода Т-ва „П. И. Оловянишникова С-я“, въ Ярославлѣ сооружена по проекту инж. В. Г. Шухова въ 1904 году. Основные размѣры ея частей слѣдующіе: остовъ 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 колець остова 7, не считая опорнаго; высота остова отъ фундамента до 7-го горизонтальнаго кольца—50 фут., до дна резервуара 56 футовъ (фиг. 42)

Діаметръ основанія остова башни 32 фута, 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 5 до 8 тыс. ведеръ.

Резервуаръ, какъ это видно изъ фиг. 42-й, помѣщается въ деревянномъ навильонѣ высотой до верхней площадки на его кровлѣ—22 фута.



Фиг. 42.

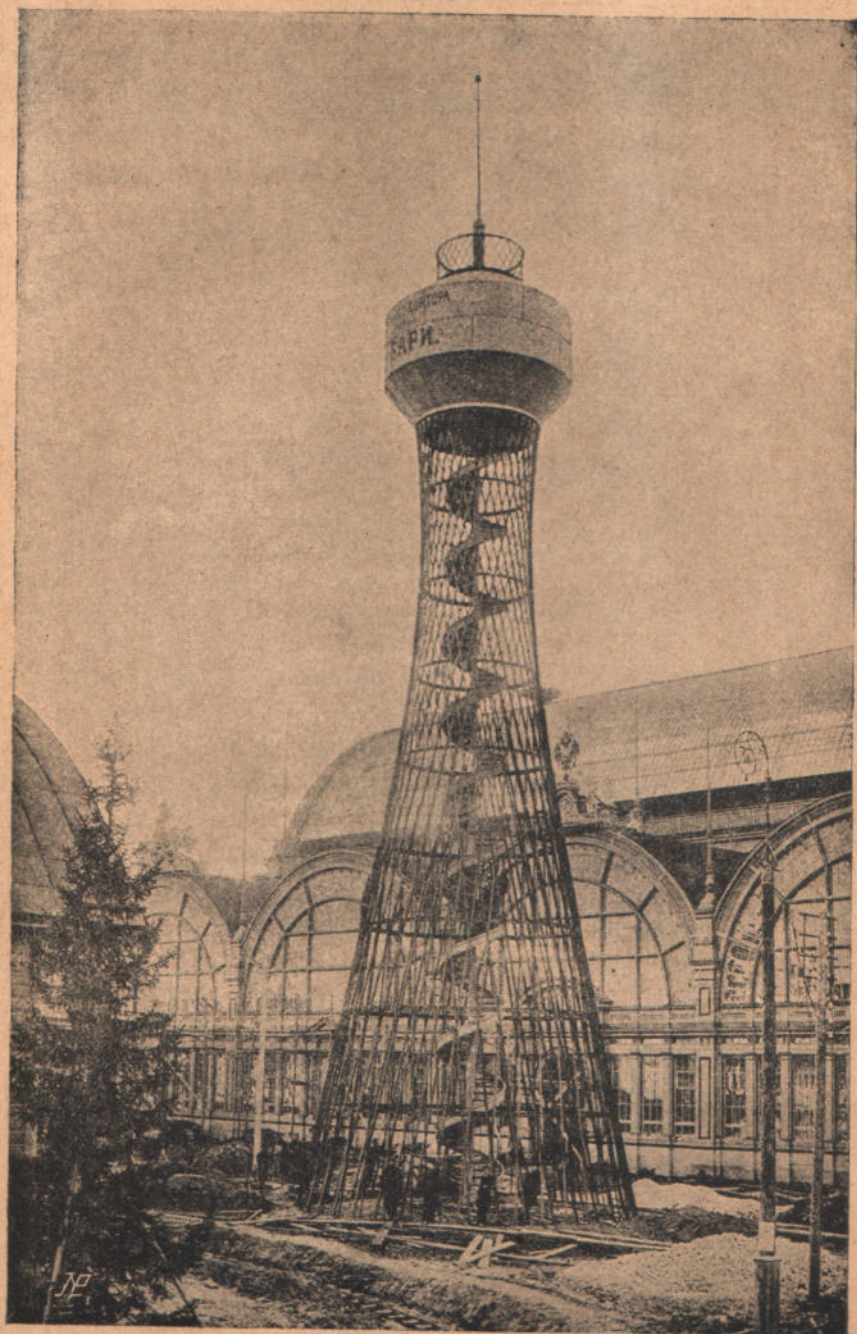
Желѣзная башня водопровода завода Торг.-Промыш. Т-ва «П. И. Оловянишникова С-я» въ Ярославлѣ.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

До настоящаго времени вода въ башнѣ не замерзала, а замерзала лишь въ трубѣ, которая хотя и была утеплена 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.

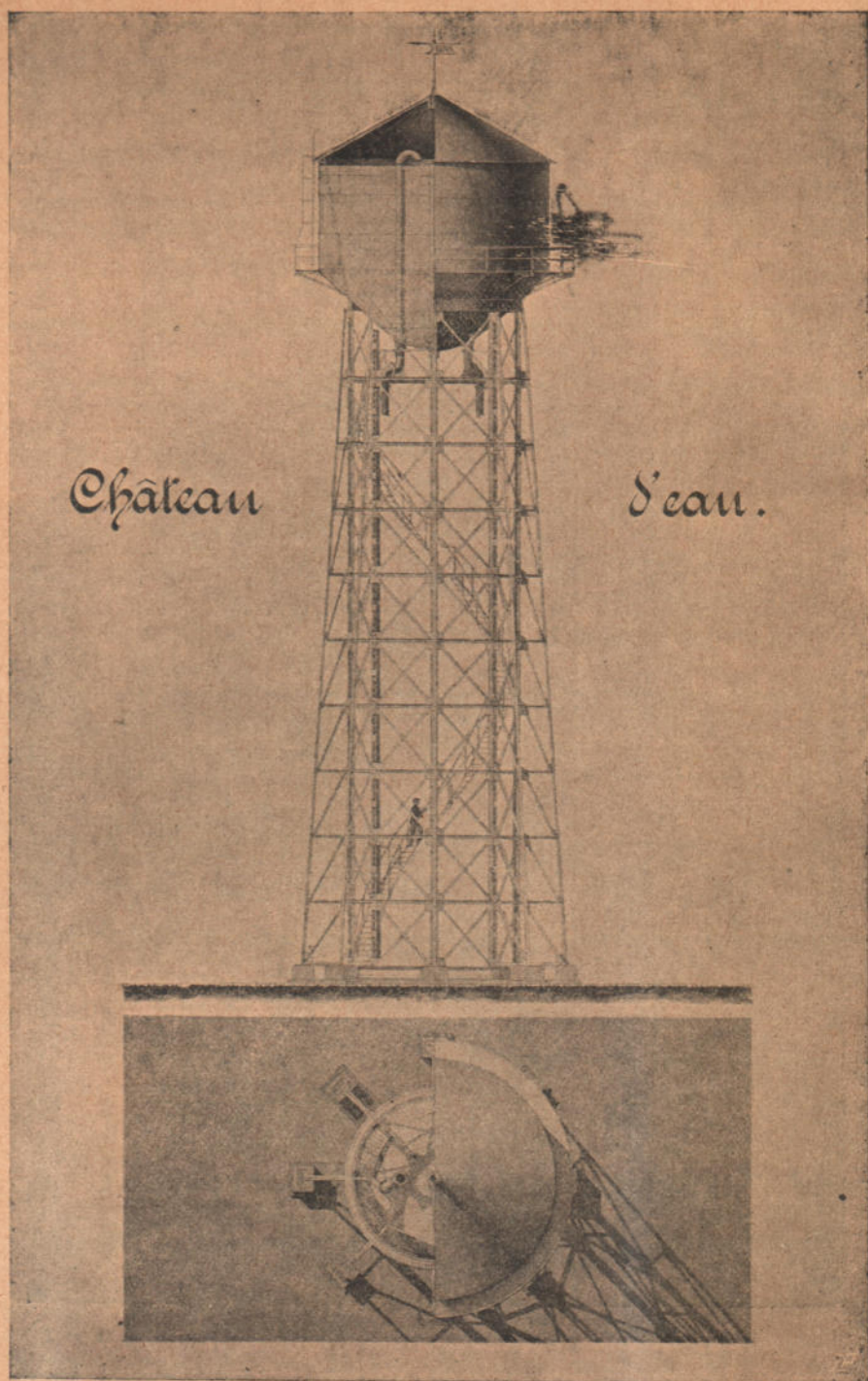
Башня имѣетъ центральную винтовую лѣстницу и громоотводъ.



Фиг. 43.

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

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



Фиг. 44.

Желѣзная водонапорная башня въ Макѣвкѣ. Всѣ башни съ резервуаромъ
4100 пудовъ.

(По проекту Адама О-на Механическихъ и Котельныхъ заводовъ „В. Фицлеръ и К. Гамперъ“, Ословоица).

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 Всероссийской 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. 43) состоитъ изъ 80 уголковъ сѣченія, внизу, $3.3\frac{3}{8}$ дм. и вверху $2.2\frac{5}{16}$ 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 Макѣвкѣ съ резервуаромъ полезной емкости въ 24 тысячи ведеръ воды.

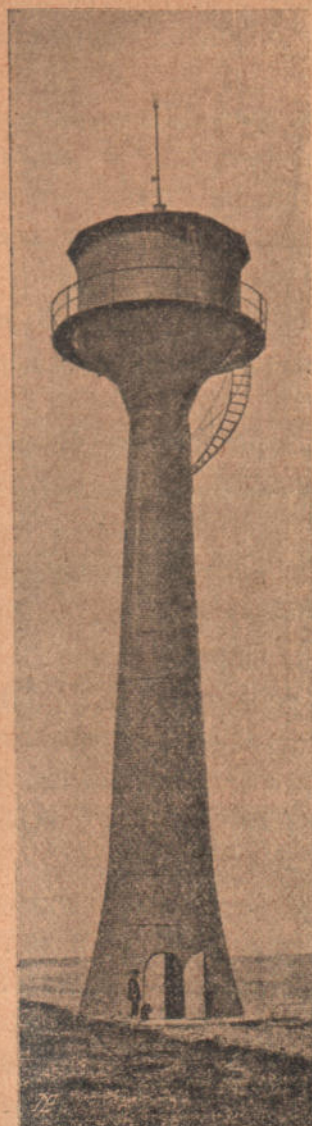
Рѣшетчатый остовъ желѣзной водонапорной башни, въ Макѣвкѣ, состоитъ изъ восьми основныхъ реберъ (вертикальных фермъ), изъ двухъ швелеровъ \square № 20—каждое, расположенныхъ по окружности діаметра 6,2 метра съ откосами въ два метра у основанія. Высота остова башни до опорнаго кольца 25 метровъ. (См. фиг. 44-ю).

Поддерживаемый башней резервуаръ имѣетъ полную емкость 300 куб. метр. Діаметръ его цилиндрической части 8,5 метр., высота—4,24 метра, высота-же нижней конической части—2,9 метра. Резервуаръ покрытъ желѣзной кровлей, имѣющей входной люкъ съ наружной и внутренней стремяной лѣстницами и окруженъ желѣзнымъ балкономъ. Одна нагнетательная труба и одна разводящая діам. по 350 м.м. (14 дм.), а переливная—250 м.м. (10 дм.). Вѣсъ резервуара 1100 пуд; а вѣсъ остова—3000 пуд.

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 Гродзецкаго Общества копей 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. 45-я). Всѣ остова башни 850 пудовъ.



Фиг. 45.

Желѣзная башня въ Гродзецѣ съ резервуаромъ на 8 тыс. вед. воды. (По проекту Акціонернаго Общества Механическихъ и Котельныхъ заводовъ „В. Фицнеръ и К. Гамперъ“, Сосновица).

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 имѣетъ діаметръ 5,5 метра, а діаметръ самой узкой части остова, подъ опорнымъ кольцомъ резервуара, 2 метра.

Высота башни отъ основанія до цилиндрической части резервуара 22,9 метра.

Желѣзный резервуаръ полной емкости на 8 тысячъ ведеръ воды состоитъ изъ цилиндра, діам. 5,2 метра и высоты 3,1 метра, и изъ нижняго усѣченнаго конуса, высотой въ 2,2 мет. съ провиснымъ сферическимъ дномъ. Резервуаръ башни окруженъ платформой изъ рифленого желѣза на кронштейнахъ прикрѣпленныхъ къ конической части днища. Кровля резервуара—изъ $2\frac{1}{2}$ мм. желѣза. Всѣ резервуара 500 пудовъ.

Башня построена 15 лѣтъ тому назадъ Акціонернымъ Обществомъ „В. Фицнеръ и К. Гамперъ“ по заказу

фирмы „Држевецкій и Езіоранскій,“ устраивавшей водоснабженіе на территоріи копей угля „Гродзецъ“.

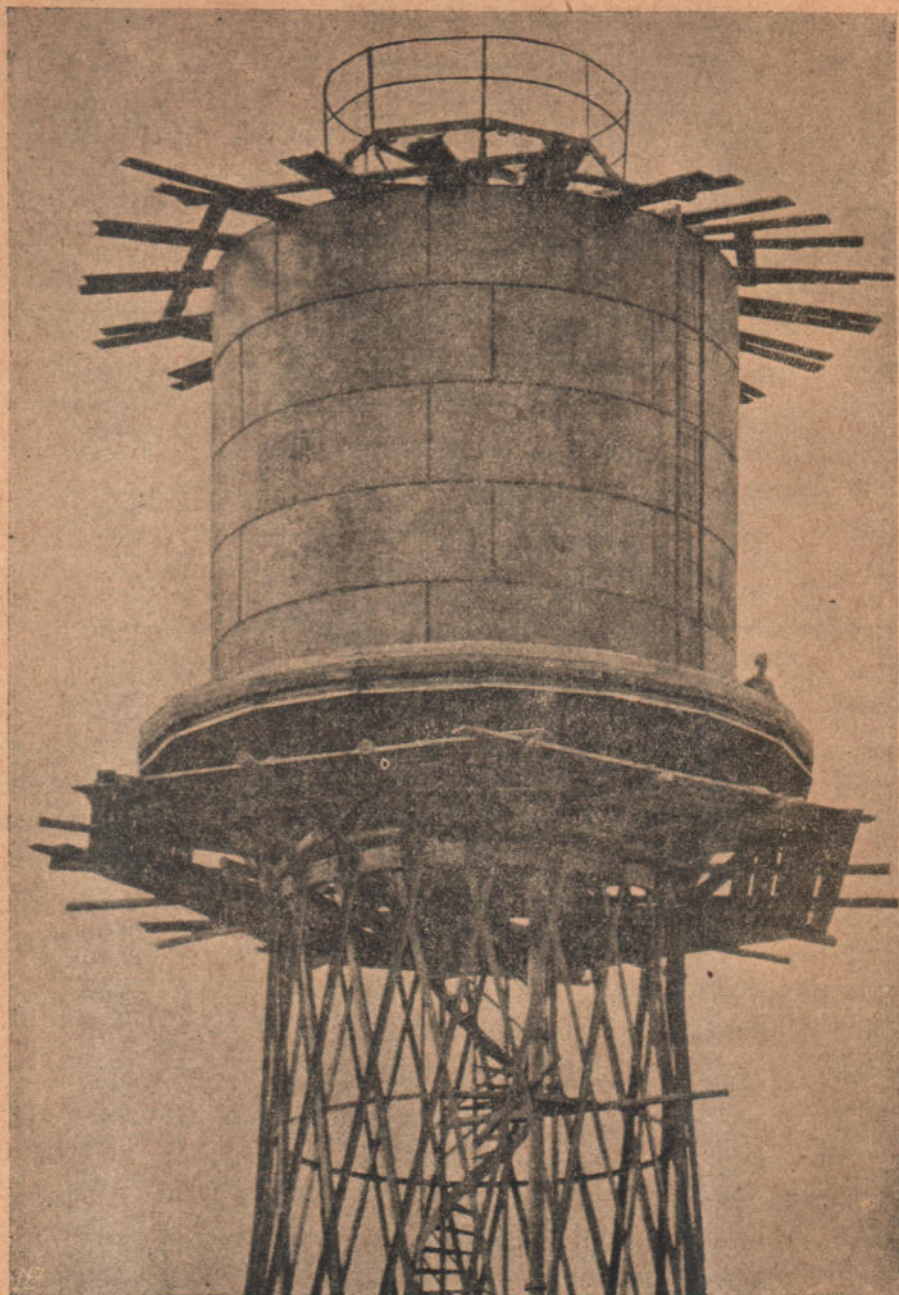
Желѣзная водонапорная башня Прилукскаго гор. водопровода съ резервуаромъ полезной емкости на 15 тыс. ведеръ воды.

На фиг. 46-й изображена желѣзная башня сист. Шухова— въ лѣсахъ, во время постройки Прилукскаго водопровода въ 1914 году. Теперь башня открыта для эксплуатаціи; стоимость ея— 12457 руб., которая раздѣляется на стоимость:

фундамента	Руб. 757—или	6.08 ⁰ / ₀
металлич. конструкціи	9550— „	76.66 ⁰ / ₀
изоляция резервуара	2150— „	17.26 ⁰ / ₀
<hr/>		
Всего	Руб. 12457—	или 100 ⁰ / ₀

Стоимость саж.—ведра, по форм. (стр. 19) составляет 0.092 руб.; т. е. болѣе, чѣмъ въ другихъ городахъ, что объясняется съ одной стороны высокою стоимостью изоляціи резервуара, а съ другой—общимъ увеличеніемъ цѣнъ какъ на рабочія руки, такъ и на всѣ матеріалы. Изоляцію резервуара возможно было совершенно не дѣлать,—она не нужна. Замерзанія воды въ резервуарѣ не будетъ, если въ самое холодное время года притокъ воды въ резервуаръ въ зависимости отъ расхода воды въ сѣти регулировать соответствующимъ образомъ; тѣмъ болѣе, что средній—наименьшій суточный разборъ воды зимой въ Прилукахъ достигаетъ почти пяти тысячъ ведеръ и вода артезианская, т. е. сравнительно теплая и постоянной температуры, а не рѣчная.

Прилукскій городской водопроводъ новый, построенъ въ 1915 году, вода—изъ артезианскихъ скважинъ, причемъ изъ двухъ скважинъ вода поступаетъ самотокомъ въ сборный резервуаръ, а изъ третьей—при помощи насоса. Годовой расходъ воды въ 1916 году былъ только 3294768 ведеръ, наибольшій мѣсячный 284319 вед. и наименьшій мѣсячный 135315 вед. воды.



Фиг. 46.

Гиперболоидальная башня Прилукского городского водопровода съ резервуаромъ полезной емкости на 15 тыс. вед. воды.

(По проекту завода А. В. Бари—въ Москвѣ) 1914 г.



Фиг. 47.

Желѣзная водонапорная башня съ резервуаромъ емкостью на 5 тысячъ вед. воды, построенная въ 1913 г. для водопровода военного лагеря въ Ярославлѣ.

Желѣзная башня въ Ярославлѣ съ резервуаромъ полезной емкости въ 5 тысячъ ведеръ воды.

Какъ видно изъ фиг. 47-й эта башня представляетъ собой одинъ изъ самыхъ простыхъ возвышенныхъ резервуаровъ для небольшихъ водопроводовъ. Резервуаръ съ плоскимъ дномъ; остова, высотой 4,5 саж., установленъ не на сплошномъ каменномъ фундаментѣ, а на отдѣльныхъ 12 столбахъ; лѣстница—самая простая.

Желѣзная водонапорная башня для водопровода Московскаго Сельско-хозяйственнаго Института съ резервуаромъ полезной емкости въ 10 тысячъ ведеръ воды.

Эта башня (фиг. 48) была построена заводомъ А. В. Бари въ 1914 году.

Остова башни:—системы инж. Шухова, высотой 16 саж. Диаметръ нижняго опорнаго кольца 46 фут., верхняго (базы подъ резервуаръ) 19 фут. Гиперболоидъ собранъ изъ 32 стоекъ, каждая изъ желѣза корытнаго профиля, перевязанныхъ 14 горизонтальными кольцами.

Резервуаръ башни: внутренней діам. 20 фут. 1,5 дм; высота—13 фут. 10,75 дм; днище плоское. Резервуаръ расположенъ для отопленія въ дерев. павильонѣ. Соеобщеніе земли съ резервуаромъ и верхнимъ балкономъ помощью желѣзной удобной винтовой лѣстницы съ 5-ю промежуточными площадками для отдыха.

Желѣзныя водонапорныя башни системы инж. Шухова съ двумя резервуарами Инце, по 60 тыс. вед. каждый, водопровода Тамбовскаго порохового завода.

На фиг. 49-й изображены едвоенныя желѣзныя гиперболоидальныя башни водопровода Тамбовскаго порохового завода. Подобная башенная установка является пока единственной въ Россіи. Высота остова каждой башни 70 фут. стоекъ остова 48; діам. нижняго опорнаго кольца 41 фут., верхняго—25 фут. 5 дм. Горизонтальныхъ колець 9. Размѣры резервуаровъ—какъ на Харьковской башнѣ (см. стр. 96-ю).

Разстояніе между осями башенъ 46 фут. 8 дм, винтовая лѣстница—между башнями. Въ верхней части—остовы башенъ

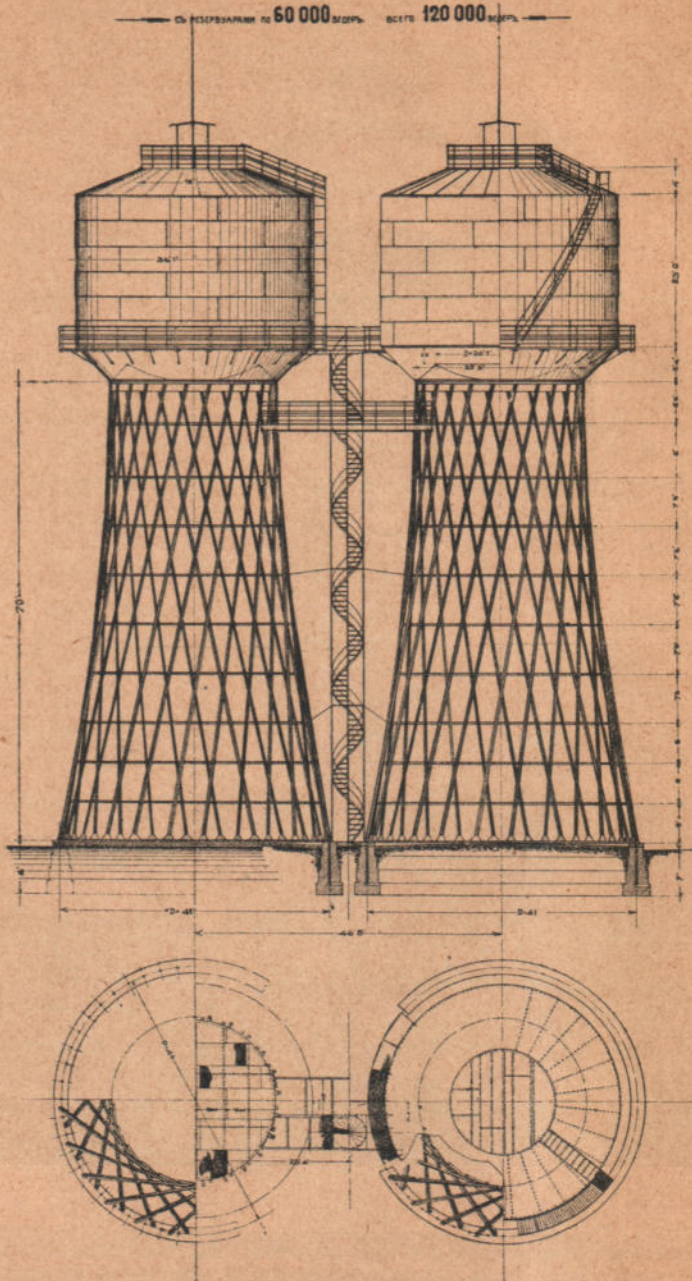


Фиг. 48.

Желѣзная водонапорная башня системы инж. Шухова, для водопровода Московскаго Сельско-хозяйственнаго Института.—съ резервуаромъ полезной емкости въ 10 тыс. вед. воды.

Водонапорная башня

СИСТЕМА ИНЖЕНЕРА ШУХОВА



Фиг. 49.

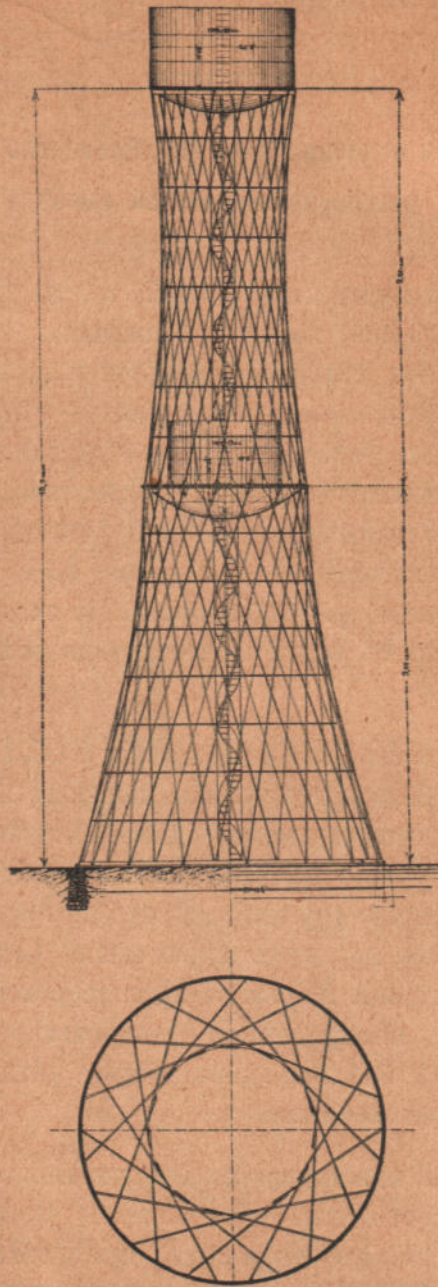
соединяются мостомъ, на которомъ расположены трубопроводы башенъ съ соотвѣтствующими кранами.

Желѣзная башня для водоснабженія ст. „Ярославль“ Сѣверн. желѣзн. дорогъ, съ двумя резервуарами, общей емкости въ 32 куб. саж.

Сотни 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, и за послѣдніе годы, 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 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.



Фиг. 50.

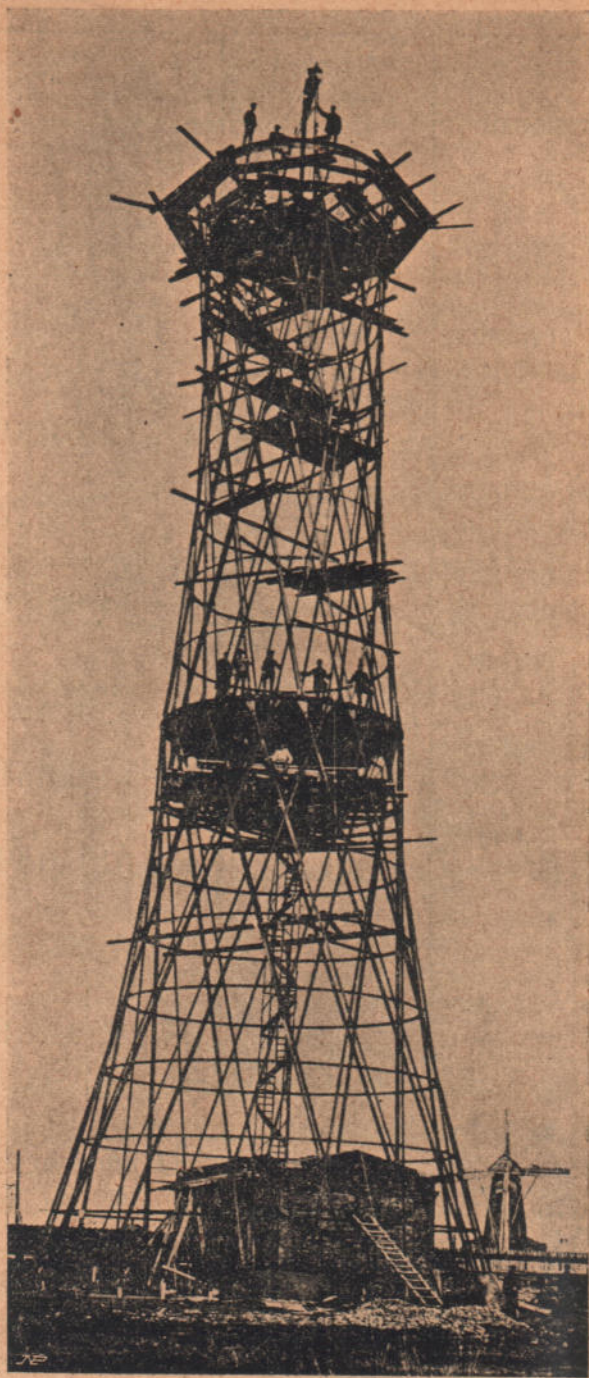
Железная башня системы инж. В. Г. Шухова, съ двумя резервуарами, общей емкости 25265 вед. воды—для водоснабженія ст. «Ярославль» Сѣв. ж. д.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

Таблица стоимости каменныхъ желѣзнодорожныхъ башенъ.

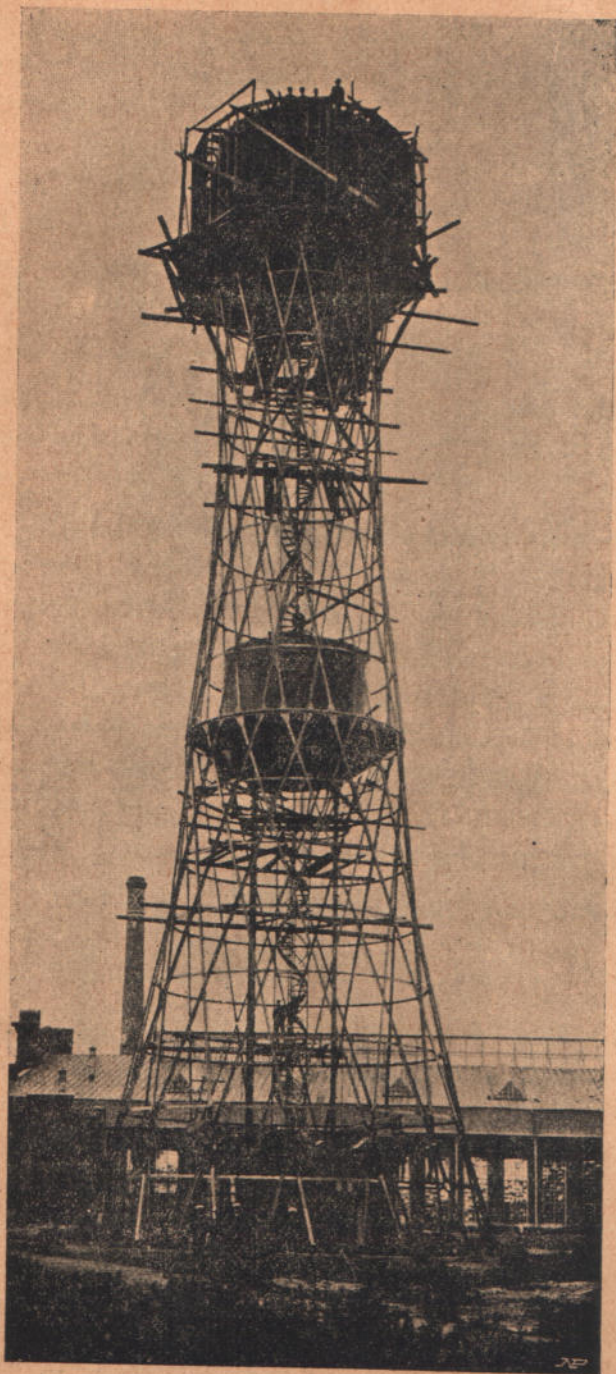
Мѣсто установки башни	Типъ башни	Высота башни отъ головки рельса до опорнаго чугунна- го кольца резер- вуара въ саж.		Емкость резервуара		Средняя стоимость саж. -- ведра башни въ руб.
		Въ куб.саж.	Въ ведр.	Стоимость башни и резервуара въ рубляхъ	P.	
Кегичевка, станція Харьково - Николаев. жел. дороги	Кирпичная башня съ фундаментомъ и цоколемъ изъ гранитной бутовой кладки на извест- ковомъ растворѣ	4	8 6315	6750	0,267	
Сахновщина, станц. Хар.-Никол. жел. дор.	„	4	8 6315	6765	0,268	
Орелька, станція Хар.-Никол. жел. дор.	„	4	8 6315	6668	0,263	
Королевка, станція Хар.-Никол. жел. дор.	„	4	8 6315	6470	0,256	
Зеленая, станція Хар.-Никол. жел. дор.	„	4	8 6315	6340	0,251	
Копани, станція Южныхъ жел. дор.	„	4,5	8 6315	4500	0,158	
Херсонъ, станція Южныхъ жел. дор.	„	6,25	12 9475	6500	0,110	
Пятихатка, станція Хар.-Никол. жел. дор.	„	5,74	12 9475	9270	0,170	

Такимъ образомъ вышепоименованныя кирпичныя башенныя установки желѣзнодорожныхъ водоснабженій обходятся значи- тельно дороже, а именно: въ 1,46 до 3,58 раза, не смотря на то, что примѣныя желѣзныя гиперболоидальныя башни, какъ са- мыя дешевыя по дѣйствительной стоимости ихъ сооруженія, а также по стоимости ихъ содержанія и ремонта, желѣзныя до- роги выиграли-бы также во времени наполненія водой локомоти- вовъ, ибо при желѣзныхъ башняхъ возможно безъ излишнихъ



Фиг. 51.

Сборка башни съ 2-ми резервуарами на ст. «Ярославль» Сѣв. ж. д.



Фиг. 52.

Сборка верхняго резервуара башни ст. «Ярославль» Сѣв. ж. д.

затратъ, по сравненію съ другими башнями, увеличить высоту напора и емкость резервуара.

Въ настоящее время гиперболоидальныя желѣзныя башни, въ техническомъ отношеніи и въ смыслѣ стоимости, настолько сильно конкурируютъ со всеми прочими типами, что (Сѣверная желѣзная дорога первая остановилась на этомъ типѣ *) и заказала въ 1910 году высокую башню системы инж. В. Г. Шухова, Московскому заводу инж. А. В. Бари для своей станціи „Ярославль“. Башня эта теперь построена и открыта для эксплуатаціи (фиг. 50, 51, 52 и 53).

Основные размѣры этой башни, типъ конструкціи которой спроектированы заводомъ въ первый разъ, заслуживаютъ интереса.

Водонапорная башня имѣетъ два желѣзныхъ резервуара, (см. фиг. 50): 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—на высотѣ 9 саж. Тотъ и другой съ сферическими днищами. Верхній резервуаръ установленъ на верхнемъ жесткомъ кольцѣ гиперболоидальнаго остова, нижній-же подвѣшенъ къ среднему кольцу остова продолженіемъ своего свѣшивающагося днища.

Остовъ башни состоитъ изъ двухъ самостоятельныхъ гиперболоидовъ, которые соединяются между собою у средняго кольца діаметра 28 футовъ.

Цѣль устройства двухъ гиперболоидовъ съ общимъ основаніемъ введена инженеромъ В. Г. Шуховымъ для полученія возможно большаго числа пересѣченій уголковъ 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 фун-

*) Проектъ башни, по разсмотрѣніи въ Управленіи Сѣверныхъ жел. дор., былъ посланъ въ Главное Управленіе Казенныхъ желѣзныхъ дорогъ, въ Петроградъ, гдѣ и былъ одобренъ.

**) Діаметръ 24 ф. 6 дм., высота цилиндра 13 фут. $6\frac{1}{2}$ дм., стрѣла днища 4 ф. 1 д.

***) Діаметръ 19 фут. 3 дм., высота цилиндра 13 ф. $9\frac{3}{8}$ дм., стрѣла днища 3 фута.



Фиг. 53.

Гиперболоидальная водонапорная башня съ 2-мя резервуарами на ст. „Ярославль“ Сѣверныхъ желѣзныхъ дорогъ.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

даментному кольцу діаметра 51 фут. 6 дм. и перевязанныхъ 7-ю горизонтальными кольцами.

Поперечное сѣченіе фундамента—въ видѣ трапеціи съ параллельными сторонами въ 2 фут. 4 дм. и 3 фут. 6 дм. и съ высотой въ 7 футовъ.

Опорное кольцо остова башни прикрѣплено къ фундаменту 30-ю болтами діам. $1\frac{1}{2}$ дм.

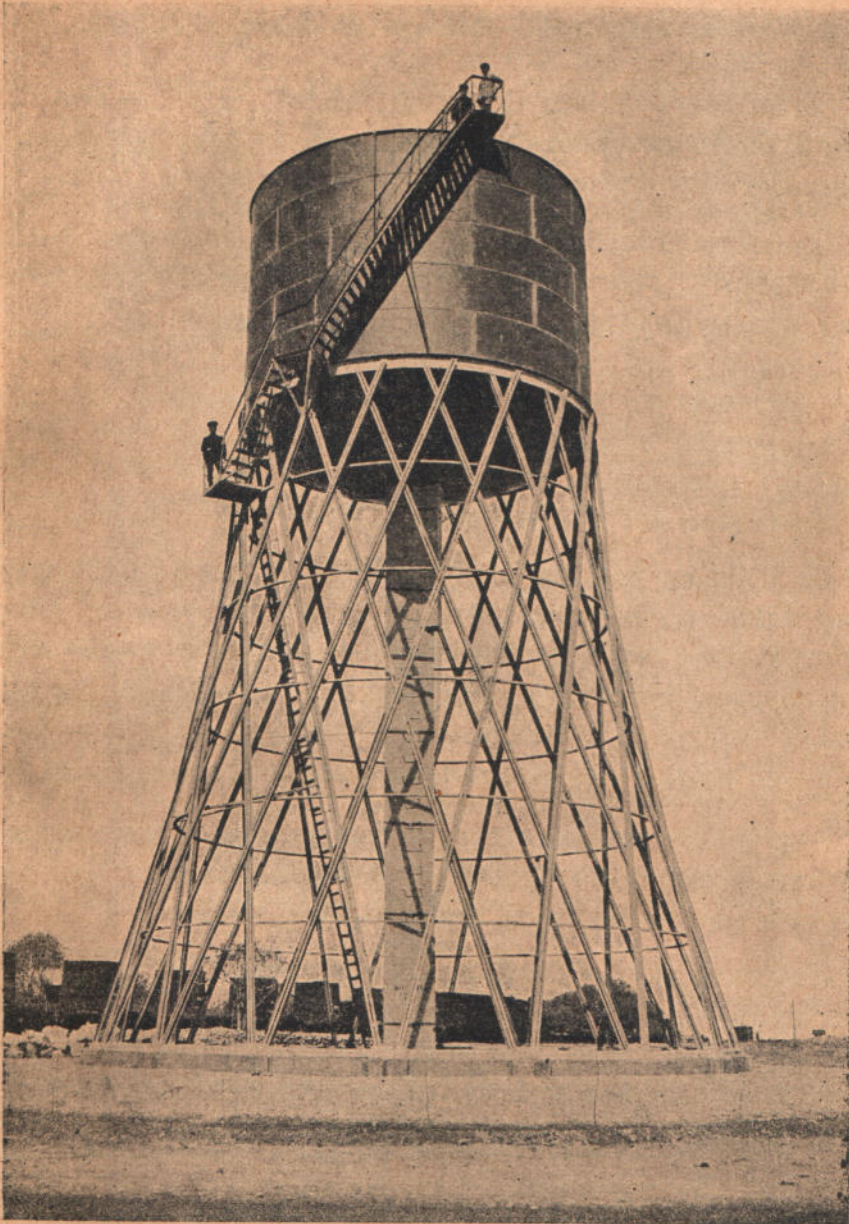
Діаметръ окружности, по которой расположены фундаментные болты.—51 фут. 10,5 дм.

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 павильоновъ или, такъ называемыхъ, резервуарныхъ шатровъ.

Желѣзная водонапорная башня системы инж. В. Г. Шухова съ резервуаромъ емкостью 40 куб. саж. для станціи Средне-Азіатской желѣзной дороги.

Послѣ башни на ст. „Ярославль“—башня ст. Средне-Азіатской желѣзной дороги (фиг. 54-я) является второй гиперболоидальной желѣзно-дорожной башней въ Россіи. Основные размѣры ея слѣдующіе:

Высота остова 15 метровъ, собранъ онъ изъ 36 желѣзныхъ стоекъ и перевязанъ 5-ю горизонтальными кольцами. Діаметръ фундаментнаго опорнаго кольца 14 мет. Желѣзный цилиндрическій резервуаръ съ провѣснымъ днищемъ—имѣетъ полезную емкость 40 куб. саж. или 31584 ведра. Основная лѣстница простая, не винтовая.



Фиг. 54.

Водонапорная гиперболоидальная башня системы инж. В. Г. Шухова съ резервуаромъ полезной емкости въ 40 куб. саж. для станціи Средне-Азіатской желѣзной дороги.

(По проекту инж. В. Г. Шухова).

Желѣзобетонная башня въ городѣ Зингенъ (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 получаютъ примѣненіе въ устройствѣ самыхъ разнообразныхъ сооружений.

При устройствѣ канализационныхъ коллекторовъ, водопроводныхъ трубъ, плоскихъ и сводчатыхъ покрытій, свай, мостовъ, облицовокъ водосборныхъ колодцевъ и пр. составилъ тотъ богатый практическій матеріалъ, который,—выясняетъ и подтверждаетъ достаточную прочность состава бетона. Это, послѣднее, 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 въ очень рѣдкихъ случаяхъ, а именно при весьма недорогой стоимости цемента и гравія—съ желѣзными башенными установками.

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

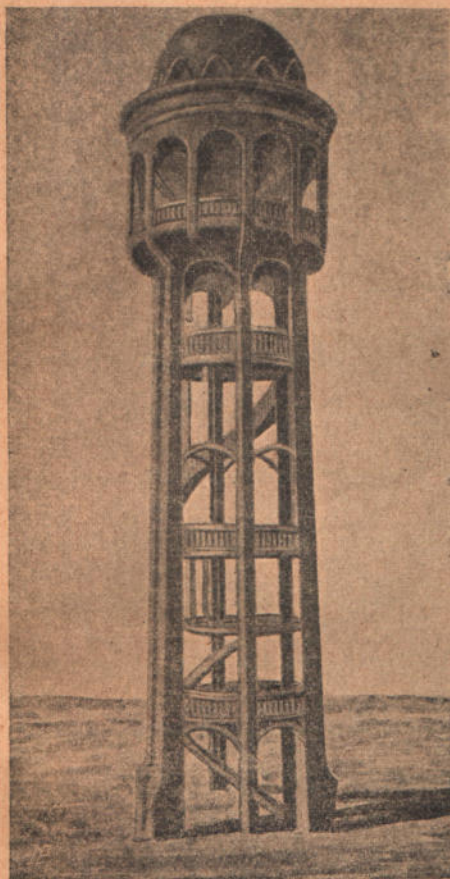
Наименьшая стоимость обыкновенной желѣзо-бетонной башни съ желѣзо-бетоннымъ резервуаромъ на 8 куб. сажень вмѣстимости и установленнаго, отъ головки рельса, на высотѣ 4 сажень—приблизительно 5,5 тысячъ рублей, что составляетъ среднюю стоимость саж.—ведра

$$m = \frac{5500}{6315.4} = 0.217 \text{ руб.}$$

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

Одна изъ недорогихъ желѣзо-бетонныхъ башенъ—башня для водоемнаго резервуара въ городѣ Зингенъ, въ Германіи (фиг. 55), высотой въ 48 метровъ.

Строитель-конструкторъ придавъ этому сооруженію очень смѣлую и изящную форму. Желѣзобетонные столбы или устои башни размѣщены по угламъ правильнаго шестиугольника и



Фиг. 55.

Желѣзобетонная башня въ г. Зингвѣ (въ Германіи) съ резервуаромъ полезной емкости въ 20250 вед. воды.

скрѣплены между собою тремя горизонтальными платформами, раздѣляющими всю башню на четыре яруса. Винтовая лѣстница ведетъ въ галерею, окружающую резервуаръ. Желѣзобетонный остовъ башни скрѣпленъ сводчатыми аркадами, расположенными между второй и третьей платформами.

Цѣлостъ сооруженія представляется очень эффектно и внушительно.

Резервуаръ башни, полезной емкости на 250 куб. метровъ воды, имѣетъ въ діаметръ 7.25 метр. при 7 метр. высотѣ.

Сверху резервуаръ прикрытъ шаровидной крышей, покоящейся на специальныхъ опорахъ желѣзной конструкціи.

Галерея, окружающая резервуаръ, имѣетъ въ ширину 1.3 метра.

Желѣзобетонные устои башни имѣютъ внизу въ разрѣзѣ 2×0.5 метр., а вверху 0.6×0.45 метр.

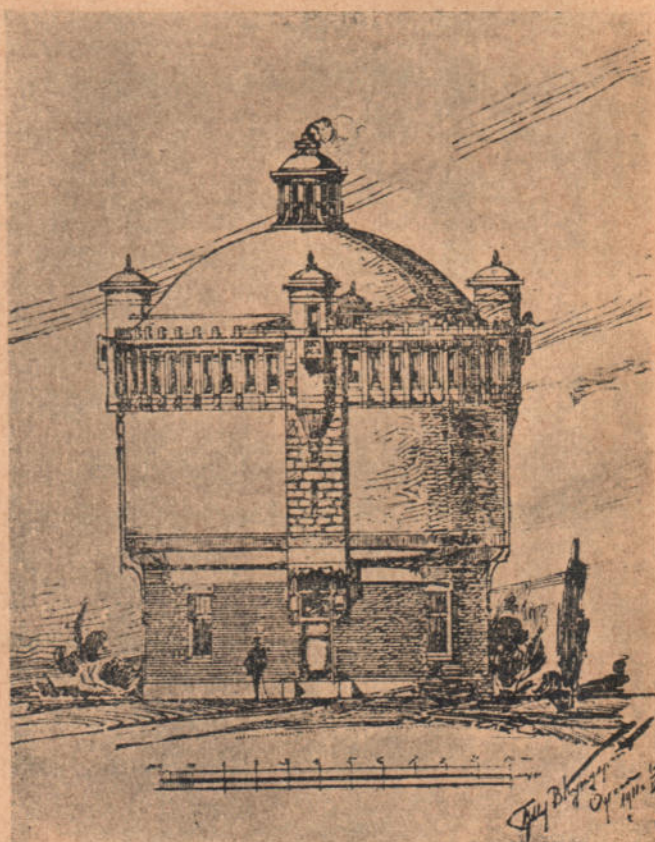
Кольцеобразный бетонный фундаментъ, на которомъ покоится все сооруженіе, имѣетъ въ разрѣзѣ 4×2 метра.

Все сооруженіе съ резервуаромъ обошлось въ 22 тысячи рублей. Исполненіе работъ продолжалось четыре мѣсяца.

Далѣ приведемъ еще одинъ примѣръ смѣшанной постройки Екатеринославской башни, а именно изъ кирпича съ желѣзо-бетоннымъ резервуаромъ.

Кирпичная водонапорная башня съ желѣзо-бетоннымъ резервуаромъ на 30 тыс. вед. воды Екатеринославскаго городского водопровода.

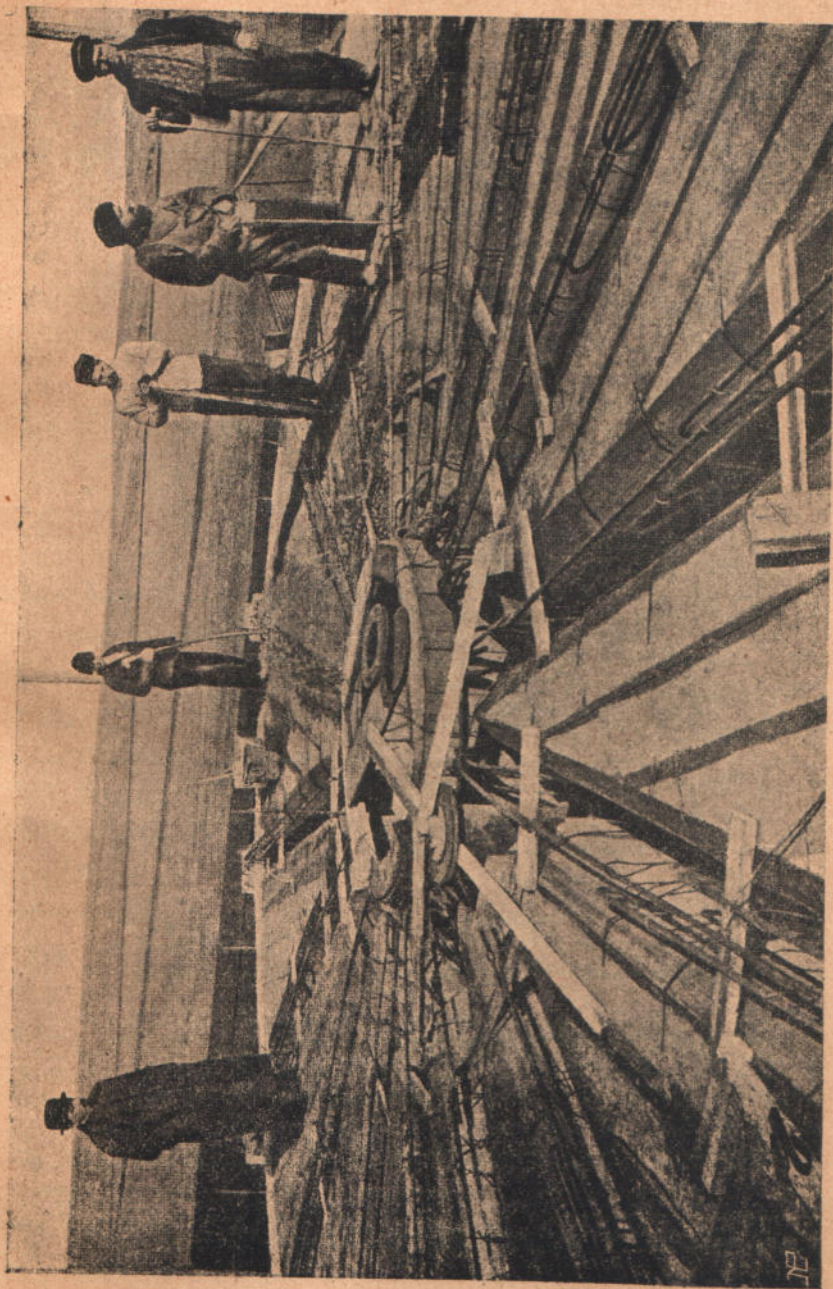
Екатеринославъ съ 215 тыс. жителей снабжается фильтрованной рѣчной водой (Днѣпръ). Система водоснабженія трехъ-



Фиг. 56.

Проектъ инж. Кундурта Екатеринославской кирпичной водонапорной башни съ желѣзо-бетоннымъ резервуаромъ полезной емкости въ 30 тысячъ ведеръ воды.

русная, — резервуарная, съ искусственнымъ подъемомъ воды. Въ 1910 году годовой расходъ воды черезъ 102-верст. сътъ, съ



Фиг. 57.

Сборка железной арматуры, передь бетонированиемъ, днища резервуара Екатеринбургской водонапорной башни.
(По проекту инж. В. И. Кундуртъ, 1911 г.)

2650 домовыми отвлѣченіями *) достигъ почти 160 милліоновъ ведеръ воды, при наибольшемъ суточномъ расходѣ въ 740 тыс. ведеръ и наименьшемъ 226 тысячъ ведеръ воды.

Въ нижнемъ и среднемъ ярусахъ—резервуары круглые, подземные, устроенные изъ желѣзо-бетона, а въ верхнемъ ярусѣ построена въ 1911 году по проекту инженера В. И. Кундертъ кирпичная башня съ желѣзо-бетоннымъ резервуаромъ на 30 тыс. ведеръ воды (фиг. 56). Высота башни, отъ уровня земли до днища резервуара 2.5 саж.

На фиг. 57-й—можно видѣть сборку арматуры днища желѣзо-бетоннаго резервуара, а на фиг. 58-й—башню въ оконченномъ видѣ.

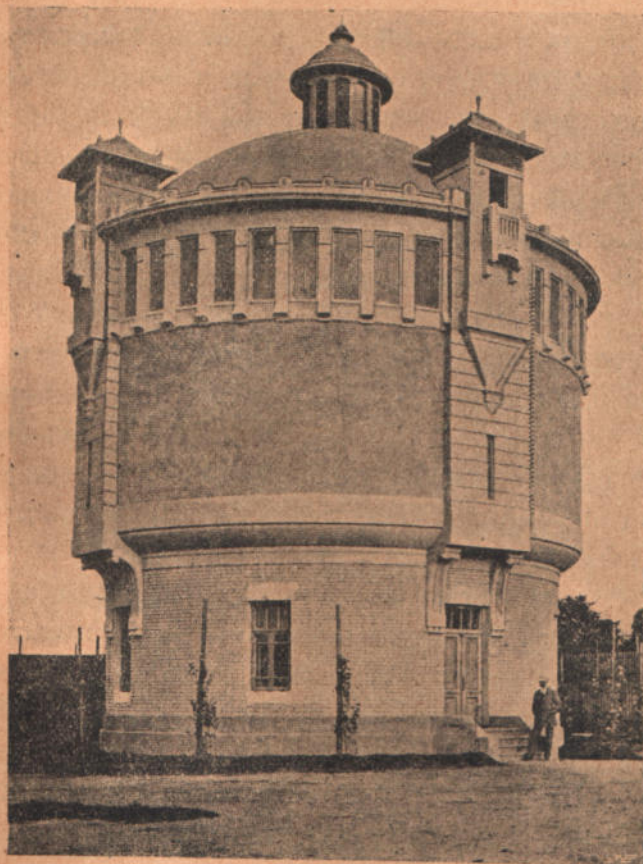
Все сооруженіе достаточно продумано и заслуживаетъ должнаго вниманія.

Рамки настоящаго труда не даютъ возможности привести здѣсь всякія свѣдѣнія, касающіяся какъ инженернаго подсчета, такъ и способовъ производства работъ и если здѣсь приведены два примѣра желѣзо-бетонныхъ башенъ, то только потому, чтобы указать интересующимся, что производство все болѣе и болѣе распространяющихся желѣзо-бетонныхъ работъ разныхъ отвѣтственныхъ сооружений только тогда можетъ быть признано правильнымъ и прочность сооружений обезпеченной, если эти работы производятся дѣйствительно специалистами по желѣзо-бетону. Въ этихъ работахъ—особенно необходимы, не только опытный по желѣзо-бетону производитель работъ, но и основательно подготовленный составъ низшихъ рабочихъ, десятниковъ и техниковъ. Игнорированіе этихъ обстоятельствъ не рѣдко приводило къ печальнымъ результатамъ въ видѣ полныхъ или частичныхъ разрушеній только что построенныхъ желѣзо-бетонныхъ конструкций.

Заканчивая настоящій трудъ, въ которомъ привели нѣсколько примѣровъ сооруженныхъ башенъ, полагаемъ, что онъ въ достаточной степени освѣщаетъ все основные вопросы строительства металлическихъ башенныхъ установокъ съ полнымъ оборудованіемъ необходимыми трубами и измѣрительными приборами.

*) Въ Екатеринославѣ въ 1910 году значилось 6075 домовъ.

Достоинства металлических башенъ для водоснабженій городовъ, посадовъ, мѣстечекъ, сель, фабрикъ и заводовъ 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.



Фиг. 58.

Кирпичная водонапорная башня Екатеринославскаго городского водопровода съ железобетоннымъ цилиндрическимъ резервуаромъ полезной емкости на 30 тыс. вед. воды.

(По проекту инж. В. И. Кувлѣрта).

Напримѣръ, для водоснабженій съ суточнымъ разборомъ воды въ нѣсколько милліоновъ ведеръ, при способѣ подачи воды изъ источниковъ черезъ возвышенныя мощныя резервуары, въ

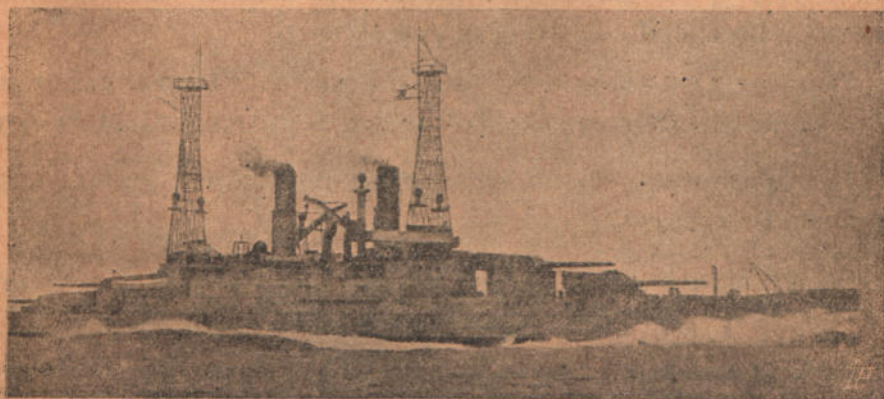
большинствѣ случаевъ представляется выгоднымъ примѣнять каменные, кирпичныя или желѣзо-бетонныя башни; кромѣ того, въ городахъ съ дешевымъ мѣстнымъ камнемъ или гравіемъ, цементомъ и пескомъ и при наличіи большихъ общихъ подрядовъ на каменные или желѣзо-бетонныя работы многихъ сооружений вновь строящихся водопроводовъ, можетъ представиться случай, что сооружения каменныхъ или желѣзо-бетонныхъ башенъ окажутся не дороже металлическихъ и т. п.

Наша задача заключалась въ возможно широкомъ освѣщеніи вопросовъ устройства, оборудованія и эксплуатаціи металлическихъ башенъ существующихъ водоснабженій городовъ и заводовъ и вслѣдствіе этого о современныхъ каменныхъ, кирпичныхъ и желѣзо-бетонныхъ башняхъ упоминали только настолько, насколько онѣ соприкасались при общихъ выводахъ и заключеніяхъ при соревнованіи цѣнъ. Нельзя обойти молчаніемъ, что каменные и кирпичныя башни въ большинствѣ случаевъ обходятся весьма дорого и что легкая гиперболическая желѣзная сѣтка системы инж. В. Г. Шухова представляетъ собой въ настоящее время настолько совершенный типъ металлической башни, что своевременное примѣненіе ихъ для водоснабженій на желѣзныхъ дорогахъ и въ городахъ дало бы большія сбереженія строительнаго капитала. Затѣмъ, при проектированіи новыхъ городскихъ водопроводовъ, большей частью, емкости резервуаровъ кирпичныхъ и желѣзо-бетонныхъ башенъ рассчитываютъ съ большимъ запасомъ на 25—30 лѣтъ впередъ, между тѣмъ какъ подобныя мощныя башни очень часто не оправдываются выгодами эксплуатацій. Во первыхъ, —наибольшій разборъ воды изъ сѣти, по проекту, обыкновенно намѣчается въ одной или двухъ опредѣленныхъ частяхъ города, сообразно которымъ нерѣдко намѣчается мѣсто установки башни, а между тѣмъ дѣйствительное развитіе города можетъ совсѣмъ не оправдать проектныхъ предположеній и центръ тяжести наибольшаго разбора воды изъ сѣти можетъ оказаться, со временемъ, въ такомъ пунктѣ, для котораго построенная башня въ смыслѣ емкости своего резервуара окажется вполне достаточной, но въ смыслѣ напора —совершенно нераціональной! Строительный-же капиталъ на мощную башню, въ подобномъ случаѣ, ложится непосильнымъ бременемъ на эксплуатацію водопровода.

Въ виду этого, устройства 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 8—10 лѣтъ.

По истеченіи-же этого срока—само развитіе водопровода укажетъ болѣе выгодное мѣсто установки *второй* башни, которое позволитъ наиболѣе рационально и весьма дешево использовать обѣ башни не только въ смыслѣ общей емкости ихъ резервуаровъ, но и въ смыслѣ напора воды. Выгодное соотношеніе искусственныхъ напорныхъ горизонтовъ въ возвышенныхъ резервуарахъ башенъ, установленныхъ въ соответствии съ дѣйствительнымъ развитіемъ города, влечетъ за собою болѣе равномерное распределеніе потерь напора въ участкахъ водопроводной сѣти.—условіе въ высшей степени цѣнное для всякаго водопровода, а также удешевляетъ дальнѣйшее развитіе сѣти, ибо въ нѣкоторыхъ ея участкахъ возможно прокладывать трубы меньшаго діаметра.

Въ дополненіе къ изложеннымъ преимуществамъ металлическихъ башенъ считаемъ необходимымъ упомянуть, что легкая и простая въ смыслѣ сборки система инж. В. Г. Шухова особенно выдѣляется изъ цѣлаго ряда другихъ металлическихъ кон-



Фиг. 59.

Американскій хредноуть «Мичиганъ» съ гиперболоидальными сѣтчатыми мачтами.

струкцій и пользуется въ послѣднее время весьма замѣтнымъ распространѣніемъ, не только въ области водопроводной техники, но и въ другихъ ея областяхъ.

Американскій флотъ гиперболоидальную сѣтку примѣняетъ для устройства мачтъ съ наблюдательными вышками для своихъ судовъ (фиг. 59.), какъ наиболѣе легкую, устойчивую и съ меньшимъ сопротивленіемъ воздуху, при движеніи судна. Подобную мачту сѣтчатаго типа труднѣе привести въ полную негодность однимъ снарядомъ выстрѣла, чѣмъ сплошную *).

Шесть лѣтъ тому наздъ заводомъ инж. А. В. Бари были закончены сооруженіемъ два гиперболоидальныхъ маяка, въ морскомъ каналѣ, подѣ Херсономъ. (см. фиг. 60, 61 и 62).

Хотя разсмотрѣніе маяковъ не входитъ въ программу настоящаго труда, но въ виду исключительности этихъ высокихъ гиперболоидальныхъ сооружений, впервые построенныхъ въ Россіи, считаемъ необходимымъ упомянуть объ ихъ основныхъ размѣрахъ.

1) Станиславскій маякъ. (фиг. 60)

Маякъ на свайномъ основаніи, съ гранитнымъ настиломъ собранъ, какъ гиперболоидъ вращенія, изъ 48 стоекъ изъ углового желѣза $3 \times 3 \times \frac{3}{8}$ и $3 \times 3 \times \frac{5}{16}$ дм., поревязанныхъ 11 горизонтальными кольцами, не считая верхняго и фундаментнаго. Опорное кольцо въ видѣ 16-ти угольника, составлено изъ двухъ уголковъ $4 \times 4 \times \frac{3}{8}$ дм. и горизонтальной полосы 12×325 м.м., діаметръ вписанной окружности его 9 метр.

Верхнее кольцо имѣетъ діам. 5.1 метра. Высота маяка отъ фундамента до центра огня 26.8 метра, а до шпиля 28.55 метр.

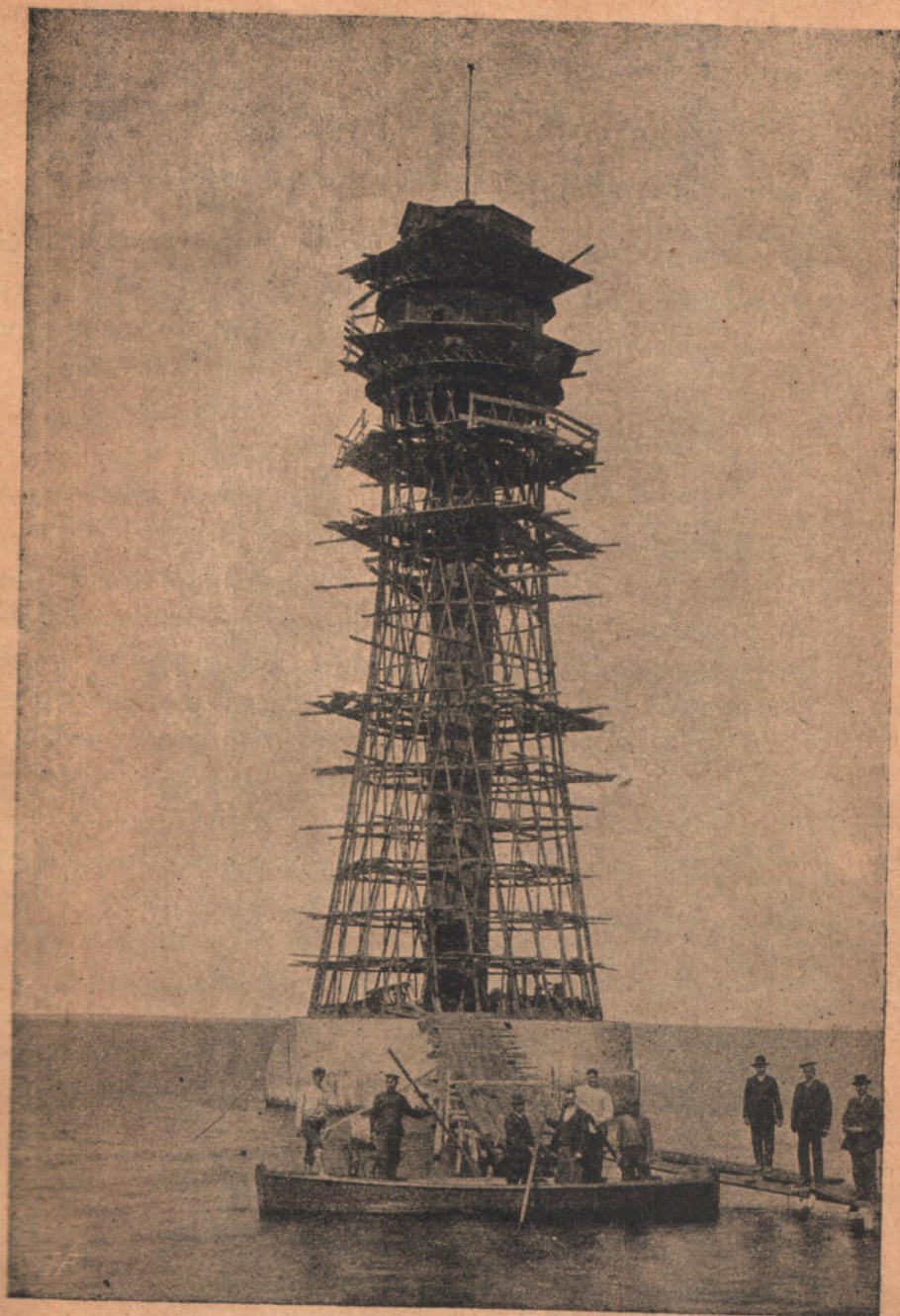
Къ фундаменту маякъ укрѣпленъ 48 болтами, діам. $1\frac{3}{8}$ дм. и длиной 2.375 метр.

*) Мачты сѣтчатаго типа у насъ установлены на броненосцахъ «Андрей Первозванный» и «Павелъ I» семь лѣтъ тому назадъ.

Онѣ болѣе тяжелаго типа и имѣють горизонтальное сѣченіе въ видѣ эллипса.

Оси эллипса сверху 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 діаметрѣ отъ 6 до 3 дм. Горизонтальныя кольца изъ стальныхъ полосъ съ распорками по двумъ осямъ изъ стали корытнаго профиля.

Мачты предназначены для самой ничтожной нагрузки вѣсомъ около 2 тоннъ.



Фиг. 60.

Станиславский гиперболоидальный желѣзный маякъ подь Херсономь, — во время постройки.

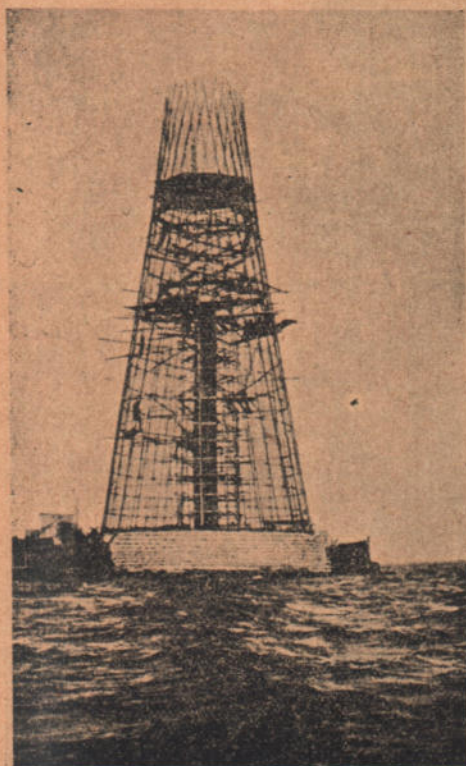
(По проекту инж. В. Г. Шухова).

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

Вѣсъ металлической конструкціи около 3500 пудовъ.

2) *Аджиюльскій маякъ (фиг. 61 и 62)*

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



Фиг. 61.

Сборка на болты гиперболюидальнаго Аджиюльскаго маяка.

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	"

Стойкиперевязаны 27-ю горизонтальнымикольцами, не считая фундаментнаго. Сѣченія углового желѣза колець отъ 60×60×8 м.м. до 100××100×12 м.м. Фундаментное кольцо, въ видѣ 60-угольника описаннаго околоокружности діам. 18 метр., собрано изъ 60 паръ швелеровъ № 18 съгоризонтальной опорной полосой 20×250 м.м. Верхнее кольцо гиперболюида маяка имѣетъ діам. 7 метр.

Высота маяка до центра огня 68 метр., а до шпиля 71,58 метр.

Къ фундаменту остовъ маяка прикрѣпленъ 60-ю болтами, діам. 2¹/₄ дм. и длиной 3,3 метра.

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

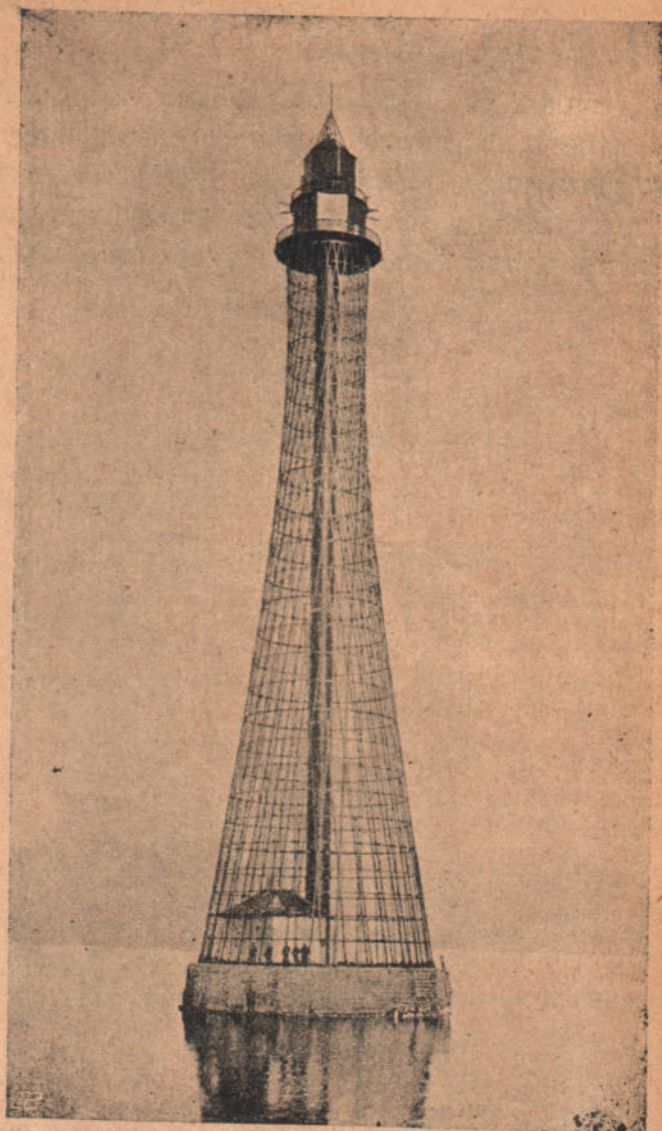
Верхнее желѣзное помѣщеніе маяка 8-угольное.

Вѣсъ всей системы около 8500 пудовъ.

Оба маяка вѣсятъ около 12 тысячъ пудовъ и обойдутся заводу на менѣе 45 тысячъ рублей.

Кромѣ указанныхъ примѣровъ, легкая гиперболоидальная конструкція можетъ получить большое распространеніе для устройства плавучихъ маяковъ, пожарныхъ вышекъ, антенъ беспроводныхъ телеграфовъ, генераторныхъ высокихъ башенъ для передачи электричества на разстояніе и пр. сооружений.





Фиг. 62.

Гиперboloидальный желѣзный маякъ сист. инженера В. Г. Шухова
высотой до центра огня 68 метровъ.

~~ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА~~

~~ХАРЬКОВСКОГО~~

~~УЛЬЯНОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНСТИТУТА~~

4936



О Г Л А В Л Е Н И Е.

	стр.
Общій обзоръ	5
Таблица башенъ на русскихъ водопроводахъ	9
Сравнительная таблица стоимости разныхъ башенныхъ установокъ	17
Фундаменты желѣзныхъ башенъ и фундаментныя помѣшенія	23
Таблица вѣса грунтовъ и угловъ ихъ естествен. откоса	25
Остовы желѣзныхъ башенъ	29
Резервуары башенъ	33
Таблица емкостей резервуаровъ	45
Оборудованіе башенъ	48
Желѣзная башня съ резервуаромъ на 65 тыс. вед. воды съ водо- непроницаемой фундаментной галлереей	54
Желѣзная башня на 50000 ведеръ	65
» » » 22865 ведеръ	76
» » » 33350 ведеръ	81
Желѣзная контръ-башня г. Унна	94
Желѣзная башня Харьковскаго водопровода	95
Желѣзная башня завода Уральско-Волжскаго металлургическаго О-ва въ Царицынѣ съ резерв. на 3 тыс. пуд. нефт. остатковъ	99
Желѣзная башня съ резервуаромъ на 2300 вед. на заводѣ Цент- ральнаго Электрическаго О-а Москва—Симоново	100
Желѣзная башня Херсонскаго водопровода	102
Желѣзная башня Николаевскаго водопровода	106
1) расчетъ ея	109
2) оборудованіе	115
3) электрической указатель уровня воды	121
4) водонепроницаемая галлерей	124
5) каменная ограда башни и жилой домъ	128
6) постройка башни	129
Желѣзная башня Воронежскаго водопровода	136
» » Коломенскаго »	137
» » завода Гивартовскаго въ Москвѣ	139
» » зав. «Г-ва Оловянишникова С-я»—въ Ярославлѣ	142
Желѣзная башня въ имѣніи «Сторожево» (Рязанск. губ.). Первая гиперболоидальная башня сист. В. Г. Шухова	145
Желѣзная башня въ Макѣевкѣ	145
» » въ Гродзецѣ	146
» » въ Прилуки	147
» » въ Ярославлѣ	150
» » Московскаго Сельско-хозяйственнаго Института	150
Сдвоенныя желѣзныя башни водопровода Тамбовскаго порохового завода	150
Желѣзная башня ст. «Ярославль» Сѣверн. жел. дор.	153
» » станціи Средне-Азіатской жел. дор.	160
Желѣзо-бетонная башня въ г. Зингень	162
Кирпичная башня съ желѣзо-бетон. резервуар. въ Екатеринославѣ	164

ЗАМЪЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

			НАПЕЧАТАНО:	СЛЪДУЕТЪ:	
На стр.	19	2-я строка	снизу —	фирмъ	фирмъ
» »	19	1-я »	» —	фармы	формы
» »	33	1-я »	сверху—	гиперболоидальныхъ	гиперболоидальныхъ
» »	59	5-я »	снизу—	фиг. 13	фиг. 12
» »	65	7-я »	сверху—	водопроницаемой	водонепроницаемой
» »	66	12-я »	» —	разстояніе	разстояніа
» »	70	11-я »	» —	1112811 + 1830	1112818 + 1830
» »	72	18-я »	» —	$h_3 = \frac{2.a + v}{a + v} \cdot \frac{h}{3}$	$h_3 = \frac{2.a + v}{a + v} \cdot \frac{h}{3}$
» »	73	7-я »	» —	+ р. 12. 17.60 +	+ р. 12. 17.60 +
» »	76	6-я »	снизу—	безопаснаго	безопаснаго
» »	79	13-я »	сверху—	корпусъ	конусъ
» »	99	7-я »	снизу—	горизотальными	горизонтальными
» »	102	1-я »	сверху—	Гиварковского	Гивартовснаго
» »	108	4-я »	снизу—	Николевской	Николаевской
» »	112	17-я »	сверху—	$q = \frac{0,750. 51359 + 2500}{48}$	$q = \frac{0,750. 51349 + 2500}{48}$
» »	136	2-я »	снизу—	резервуары	размѣры

— Водонапорная башни —

— Система инженер-полковника Вихова —

— Система на 60 000 куб. м. и на 120 000 куб. м. —

