

*Висшій лекторъ Александровъ Зандуку
отъ Н. Житкевича*

р.к. Ж. 111/9.

Н. А. Житкевичъ

Штатный преподаватель Николаевской Инженерной Академіи и Училища.

Э. 42.

ПРИМѢНЕНІЕ БЕТОНА
И
ЖЕЛѢЗО-БЕТОНА
КЪ
КАНАЛИЗАЦІИ И ВОДОСНАБЖЕНІЮ.

Отдѣльный оттискъ изъ журнала „ЗОДЧИЙ“, органа Императорскаго Спб. Общества Архитекторовъ.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ
Типографія Спб. Градоначальства, Пемайловскій полкъ, 8-я рота. № 20
1900.

Р. III. 9.

693.5+628
№ 74

Н. А. Житкевичъ

Штатный преподаватель Николаевской Инженерной Академіи и Училища.

8.42.

ПРИМѢНЕНІЕ БЕТОНА
И
ЖЕЛѢЗО-БЕТОНА
КЪ
КАНАЛИЗАЦІИ И ВОДОСНАБЖЕНІЮ.

1975

Отдѣльный оттискъ изъ журнала „ЗОДЧІЙ“, органа Императорскаго Слб. Общества Архитекторовъ.

18.10.1900

Академія наукъ
техниче
Дата *2007*

С.-ПЕТЕРБУРГЪ
Типографія Слб. Градоначальства, Измайловскій полкъ, 8-я рота. № 20
1900.

Примѣненіе желѣзо-бетона къ канализаціи и водоснабженію городовъ *).

Въ теченіе послѣднихъ 20 лѣтъ бетонъ и желѣзо-бетонъ получили обширное примѣненіе при устройствѣ канализаціи и водопроводовъ. Въ этомъ отношеніи наиболее интересными являются работы, произведенныя для канализаціи и водоснабженія Парижа и представляющія многочисленныя примѣры сочетанія желѣза и бетона, сообразно тѣмъ специальнымъ требованіямъ, которыя представляютъ подобнаго рода сооруженія.

Даже при обыкновенныхъ условіяхъ, когда канализаціонныя трубы не подвержены внутреннему давленію, болѣе выгоднымъ, въ большинствѣ случаевъ, оказывается примѣненіе бетона вмѣсто кирпичной или каменной кладки.

Обширное изслѣдованіе этого вопроса привело инженера Гагу (лабораторія для испытанія матеріаловъ и конструкцій въ Berlin-Charlottenburg'ѣ) къ слѣдующимъ результатамъ:

Бетонныя трубы существуютъ во многихъ германскихъ городахъ болѣе 20—25 лѣтъ, при чемъ общая длина канализаціонныхъ бетонныхъ трубъ въ 79 городахъ до 1896 года равна 660 километровъ, въ томъ числѣ: въ Darmstadt'ѣ—6 километровъ (10 лѣтъ), въ Gotha—6 кил. (11 лѣтъ), въ Luxemburg'ѣ 5,5 кил. (12 лѣтъ), Erlangen'ѣ—20 кил. (13 лѣтъ), Aix-la-Chapelle'ѣ—17 кил. (17 лѣтъ), Mainz'ѣ—43 кил. (18 лѣтъ), Heidelberg'ѣ—10 кил. (20 лѣтъ), Carlsruhe—50 кил. (22 года). Диаметръ каналовъ измѣняется: для круглаго поперечнаго сѣченія отъ 0,10 м. до 1,60 м. и для овальнаго—отъ 0,20 м. X 0,30 м. до 1,10 м. X 1,80 м.

Нѣкоторыя городскія общества при устройствѣ канализаціи отдали предпочтеніе кирпичнымъ и каменнымъ каналамъ, опасаясь вреднаго вліянія на бетонъ горячихъ сточныхъ водъ, заключающихъ много кислотъ или подверженныхъ большому давленію.

Но, съ другой стороны, значительное большинство городскихъ управленій и инженеровъ придерживаются того мнѣнія, что слабыя растворы кислотъ не дѣйствуютъ разрушительно на бетонъ и что этотъ матеріалъ является болѣе выгоднымъ для устройства канализаціонныхъ трубъ.

На запросъ, сдѣланный городскимъ управленіямъ, было получено 58 отвѣтовъ, вполне благоприятныхъ для эксплуатируемыхъ бетонныхъ каналовъ, потребовавшихъ въ теченіе 6—25 лѣтъ ничтожнаго ремонта или оставшихся совершенно неповрежденными. Значительныя же исправленія, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, были вызваны исключительно внѣшними причинами, какъ, напримѣръ, осадкой земли.

По заключенію городского инженернаго совѣта въ

Дрезденѣ, примѣненіе бетона къ каналамъ значительнаго поперечнаго сѣченія уменьшаетъ время постройки на 66% и стоимость—на 25% сравнительно съ каменной или кирпичной кладкой.

На основаніи данныхъ, полученныхъ при устройствѣ канализаціи въ Берлинѣ, инженеръ Гагу приводитъ слѣдующія сравнительныя цѣны для одного погоннаго метра каналовъ кирпичныхъ и бетонныхъ:

Цѣна въ маркахъ:	Диаметра овальныхъ и круглыхъ сѣченій.		
	0,66 м. X 0,90 м.	0,81 м. X 1,20 м.	1,50 м. X 1,50 м.
Кирпичн.	36,19	48,79	74,38
Бетон.	20,00	33,00	56,00

Въ виду этихъ очевидныхъ преимуществъ бетона, подтвержденныхъ многолѣтнимъ опытомъ, вполне понятно стремленіе многихъ инженеровъ дать бетону возможно широкое примѣненіе при устройствѣ канализаціи.

Но бетонъ, подобно кирпичной и каменной кладкѣ, не можетъ оказать на практикѣ значительнаго сопротивленія растяженію, и поэтому примѣненіе его ограничивалось только устройствомъ каналовъ и прочихъ частей сѣти, не подверженныхъ растяженію. Въ силу этого, для сифоновъ и вообще каналовъ, подверженныхъ внутреннему давленію, вынуждены были примѣнять чугуныя или желѣзныя трубы, несмотря на явную непригодность этихъ матеріаловъ, разрушающихся сравнительно быстро подъ вліяніемъ сточныхъ водъ. Благодаря быстрому окисленію, прочность этихъ трубъ постепенно уменьшается, на внутренней поверхности получаютъ наросты, уменьшающіе поперечное сѣченіе и увеличивающіе сопротивленіе движенію сточныхъ водъ. Кроме того, чугуныя трубы, вслѣдствіе сравнительно малой упругости матеріала весьма чувствительны къ ударамъ, неправильной осадкѣ земли и прочимъ внѣшнимъ силамъ, вызывающимъ разстройство сѣти, несмотря на всѣ мѣры предосторожности, принимаемыя при укладкѣ трубъ значительнаго диаметра. Какъ примѣры, можно привести разрушеніе стока парижской сѣти значительнаго диаметра около Villejuif; также въ Briare'ѣ и другихъ окрестностяхъ Парижа и Roubaix получились недавно разрывы въ подобныхъ же трубахъ, подверженныхъ слабому внутреннему давленію.

Въ Греноблѣ чугуныя трубы замѣнены въ настоящее время бетонными. Всѣ подобныя случаи быстрого и легкаго разстройства чугунныхъ канализаціонныхъ трубъ заставили отказаться отъ чугуна, но примѣненіе его для устройства сифоновъ и каналовъ, подверженныхъ внутреннему давленію, было вызвано

*) Докладъ, читанный въ Императорскомъ С.-Петербургскомъ Обществѣ Архитекторовъ 30-го марта 1899 г.

необходимостью, за неизвѣнемъ другого дешеваго матеріала, способнаго оказать требуемое сопротивление.

Въ настоящее же время вопросъ этотъ можно считать рѣшеннымъ на основаніи обширныхъ работъ по канализаціи Парижа, гдѣ всѣ каналы, подверженные малому или значительному внутреннему давленію (до 4-хъ атмосферъ), устроены изъ желѣзо-(стале)-бетона.

Первыя работы для отвода сточныхъ водъ на поля орошенія d'Achères были начаты въ 1894 году и окончены 3 іюля 1895 года. Въ теченіе 1897 года общее количество сточныхъ водъ, доставленныхъ на поля орошенія d'Achères, равно 35,000,000 куб. метр. Въ составѣ этой сѣти вошли слѣдующія желѣзо-бетонныя сооруженія.

1) 2351 метр. эллиптической галереи шириною 5,16 м. и высотой 4,34 м., въ которой расположены два стале-бетонныхъ канала діаметромъ 1,80 м.; давленіе въ нихъ измѣняется отъ 2 м. до 36 м. (0,2 атм. до 3,6 атмосферъ).

Сводъ эллиптической галереи, толщиной 0,08 м., состоитъ изъ бетона и желѣзнаго остова, представляющаго сѣтку изъ поперечныхъ прутьевъ толщиной 16 милл. и продольныхъ—діаметромъ 8 мм.

2) Продолженіемъ этихъ двухъ трубъ служитъ желѣзо-бетонный каналъ круглаго сѣченія діаметромъ 3 м.; длина 561,40 м.; толщина стѣнокъ 0,09 м.; медаліическій остовъ состоитъ изъ стальныхъ прутьевъ толщиной 8 мм.

3) Для распредѣленія сточныхъ водъ по полямъ орошенія служатъ до 40 километровъ сталебетонныхъ, трубъ діаметромъ отъ 1,10 м. до 0,40 м. Нормальное давленіе въ нихъ до 40 м. (4 атмосферъ).

Всѣ эти работы, въ связи съ другими канализаціонными сооруженіями, были закончены въ 1895 году. Вполнѣ удачная эксплуатація ихъ въ теченіе трехъ лѣтъ убѣдила городское управленіе Парижа примѣнить желѣзо-бетонныя трубы для дальнѣйшаго развитія сѣти, имѣющаго цѣлью доставить часть сточныхъ водъ на поля орошенія возлѣ Mery и Triel'я.

Діаметръ трубъ измѣняется отъ 2 до 0,4 метр., при общей длинѣ этой сѣти 25 километровъ. Всѣ эти работы, включая полную укладку трубъ, предполагались окончить въ теченіе 6 мѣсяцевъ, т. е. къ концу 1898 года.

Подробное описаніе всѣхъ работъ для канализаціи Парижа приведено въ сочиненіи Bechmann и Launay: *Notice sur les travaux de l'aqueduc et du parc agricole d'Achères, 1897 г.*; болѣе же краткое описаніе помѣщено въ «Le génie sanitaire», 1898 г. № 7.

Не вдаваясь въ подробности, приводимъ ниже:

1) Теоретическія и практическія данныя, выясняющія выгоды примѣненія желѣзо-бетона къ канализаціи и водоснабженію.

2) Описаніе исполненныхъ работъ по устройству желѣзо-бетонныхъ каналовъ, подверженныхъ внутреннему давленію.

3) Примѣры устройства желѣзо-бетонныхъ резервуаровъ значительной емкости для водоснабженія городовъ.

I. Теоретическія и практическія данныя, выясняющія выгоды примѣненія желѣзо-бетона къ канализаціи и водоснабженію.

Главныя теоретическія требованія, которымъ должны удовлетворять матеріалъ канализаціонныхъ и водопроводныхъ трубъ, слѣдующія:

1) прочность и неизмѣняемость, обеспечивающія непрерывную эксплуатацію.

2) дешевизна устройства и дальнѣйшаго исправнаго содержанія и

3) простота и быстрота устройства.

Въ примѣненіи къ мостамъ, между-этажнымъ покрытиямъ ¹⁾ и пр., желѣзо-бетонъ получилъ быстрое развитіе въ теченіе послѣднихъ 25—30 лѣтъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ вполнѣ выяснились слѣдующія главнѣйшія свойства желѣзо-бетона, представляющаго сочетаніе двухъ совершенно разнородныхъ матеріаловъ.

1) Равенство коэффиціентовъ расширенія желѣза (стали и бетона).

Практика и опыты, произведенные въ лабораторіи l'Ecole des ponts et chaussées инженерами Durand-Claye и Debray, показали, что быстрыя и рѣзкія измѣненія температуры не производятъ никакого вреднаго дѣйствія на желѣзо-бетонныя или стале-бетонныя сооруженія.

Коэффиціентъ расширенія желѣза измѣняется въ предѣлахъ 0,000136—0,000148, а для цемента примѣрно равенъ—0,000135; поэтому, практически, эти коэффиціенты можно считать равными и, слѣдовательно, нѣтъ никакого основанія предполагать возможность нарушенія связи между бетономъ и желѣзомъ вслѣдствіе измѣненій температуры

2) Сила сцѣпленія цемента съ желѣзомъ или сталью, соединяющая оба матеріала въ одно упругое цѣлое, опредѣляетъ главныя преимущества желѣзо-бетонныхъ сооруженій надъ чисто бетонными и даетъ возможность примѣнить съ наибольшей выгодой оба матеріала, заставляя работать желѣзо исключительно на растяженіе, а бетонъ—на сжатіе.

Опыты, произведенные проф. Vauchinger'омъ, показали, что сила сцѣпленія цемента съ желѣзомъ достигаетъ 40—47 килогр. на кв. сант. поверхности прикосновенія. Многочисленные опыты инж. Feret (Boulogne sur Mer, laboratoire des Ponts et Chaussées) привели къ тому заключенію, что сила сцѣпленія бетона разнаго состава съ желѣзомъ примѣрно равна силѣ сцѣпленія между частями самаго бетона.

Подобная связь существуетъ не только между желѣзной сѣткой, окруженной бетономъ, но также, на примѣръ, между стальной трубой, помѣщенной внутри другой, бетонной для предохраненія отъ фильтраціи; обѣ трубы представляютъ какъ-бы одно цѣлое, и для отдѣленія внутренней трубы требуется полное разрушеніе окружающаго ее бетона.

3) Бетонъ, окружая желѣзо, предохраняетъ его вливающимъ образомъ отъ окисленія и разрушительнаго дѣйствія ржавчины. Инженеръ Considère, занявшись изученіемъ этого вопроса, изслѣдовалъ до 50

¹⁾ «Плоскія желѣзо-бетонныя покрытія и ихъ расчетъ». Н. Житковича.

кусковъ желѣза, задѣланнаго въ кладку и пролежавшаго въ морѣ на разныхъ глубинахъ 5, 10, 25 и даже 50 лѣтъ. Въ результатъ оказалось, что во всѣхъ случаяхъ, когда кладка не была повреждена, желѣзо сохранило свой первоначальный видъ, не обнаружило ни малѣйшихъ слѣдовъ ржавчины и связь его съ цементнымъ растеромъ была вполне прочной.

Опыты показываютъ, что при употребленіи желѣза, покрытаго ржавчиной, окружающей его цементъ входитъ въ химическое соединеніе съ окислами желѣза въ тотъ періодъ, когда не произошло еще схватываніе цемента. Такимъ образомъ, цементъ освобождаетъ желѣзо отъ ржавчины и сохраняетъ его въ такомъ видѣ неопредѣленное время. Этимъ объясняется, почему желѣзо при удаленіи окружающаго его бетона очень часто имѣетъ металлическій, голубоватый цвѣтъ.

4) Коэффициенты упругости обоихъ материаловъ таковы, что желѣзо, окруженное бетономъ, можетъ работать при сжатіи или растяженіи почти до своего предѣла упругости, не вызывая трещинъ въ прилегающей массѣ бетона. Такимъ образомъ, желѣзо или сталь, окруженная бетономъ, могутъ оказать полное свое сопротивление, находясь въ наимыгоднѣйшихъ условіяхъ, уничтожающихъ главный недостатокъ желѣза—быстрое разрушеніе подъ влияніемъ воздуха и сырости.

Поэтому при расчетѣ желѣзо- или стале-бетонныхъ трубъ можно ограничиться сравнительно меньшими запасами прочности, чѣмъ при обыкновенныхъ металлическихъ конструкціяхъ; тѣмъ болѣе, что сопротивление бетона значительно увеличивается съ теченіемъ времени. Какъ примѣръ, можно привести слѣдующій опытъ Thiervauy, директора водопроводнаго общества въ Grenoble'ѣ.

Отрѣзокъ бетонной трубы, рассчитанной на давленіе 15 метр. и пробывшей въ канализаціонной сѣти города 30 лѣтъ, былъ подвергнутъ гидравлическому давленію и разорвался при давленіи 135 метр.

Другое весьма цѣнное качество желѣзо-бетонныхъ системъ—упругость, которая обеспечиваетъ прочность желѣзо-бетонныхъ трубъ. Въ этомъ отношеніи, какъ было указано выше, чугуныя и обыкновенныя керамиковыя трубы значительно уступаютъ бетоннымъ и желѣзо-бетоннымъ, вслѣдствіе чего является ихъ чувствительность къ ударамъ и дѣйствию гѣкъ случайныхъ, виѣшнихъ силъ, которая является при неправильной укладкѣ или осадкѣ земли.

5) При незначительной толщинѣ стѣнокъ желѣзо-бетонныя трубы оказались на опытѣ непроницаемыми для воды при давленіи до 20 и 25 метр. Въ началѣ опыта, по мѣрѣ увеличенія давленія, на наружной поверхности трубы наблюдается слабое просачиваніе воды, что объясняется нѣкоторой пористостью бетона, являющейся вслѣдствіе испаренія свободной воды, не вошедшей въ химическое соединеніе съ цементомъ.

Но вслѣдъ за тѣмъ просачивающаяся вода увлекаетъ съ собой къ наружной поверхности частицы свободной извести, которая заполняетъ поры и твердеетъ, соединяясь съ углекислотой воздуха.

Въ этомъ отношеніи весьма интересенъ опытъ, произведенный инженеромъ Bordenave'омъ надъ водопроводомъ San-Ambrogio длиною 6495 метр. (6,5 километр.),

снабжающимъ водою Венецію *). Диаметръ желѣзо-бетонныхъ трубъ 0,80; толщина стѣнокъ 0,037 м.; давленіе въ нихъ измѣняется отъ 3,4 до 7 м.

Измѣряя количество воды, поступающей въ водопроводъ и вытекающей изъ него, были получены слѣдующія дѣйствительныя потери воды: въ первый день открытія водопровода—195 литр. въ 1 минуту, на пятый день—102 литр. въ 1 минуту, на 9-й день—71 литр., на 50-й день—11 литр., на 115-й день—8,66 литр. въ 1 минуту и на 495-й день—4,22 литр. въ 1 минуту.

Первоначальная значительная убыль объясняется указаннымъ выше всасываніемъ воды порами бетона послѣдовавшее затѣмъ ихъ закупориваніе вызвало быстрое уменьшеніе потери до сравнительно ничтожнаго количества—4,22 литр. въ 1 минуту, что составляетъ въ сутки:

$$4,22 \cdot 60 \cdot 24 = 6,07 \text{ куб. метр.}$$

При давленіи болѣе 20—25 м. для устраненія просачиванія сточныхъ водъ примѣнены для канализаціи Парижа желѣзо-бетонныя трубы съ внутренней оберткой изъ листовой стали. Эксплуатація этихъ трубъ болѣе сложной системы дала вполне благоприятные результаты въ теченіи послѣднихъ трехъ лѣтъ.

6) Однимъ изъ важныхъ преимуществъ желѣзо-бетонныхъ трубъ является возможность получить ихъ внутреннія поверхности вполне правильными и гладкими. Въ этомъ отношеніи отсутствіе шероховатости лучше всего обеспечиваетъ трубы отъ всякаго рода отложений, вызывающихъ, съ одной стороны, засореніе, а съ другой—способствующую разрыву трубъ незначительной скорости, достаточно ничтожнаго отложения, представляющаго уже поверхность болѣе или менѣе шероховатую, способствующую дальнѣйшему отложенію ила, песку, тины и прочихъ частицъ, увлекаемыхъ водою; въ результатъ можетъ получиться полное закупориваніе трубы. Какъ выяснила многолѣтняя практика, на внутреннихъ стѣнкахъ бетонныхъ трубъ никогда не появляются водоросли известковыя или минеральныя отложения, вызывающія дальнѣйшее засореніе. Напротивъ, въ чугунныхъ трубахъ, вслѣдствіе химическаго дѣйствія водъ, появляются ржавчина, желѣзистыя наросты и отложения, влекущіе за собой засореніе и постепенное разрушеніе трубъ.

Въ этомъ отношеніи можно привести слѣдующіе примѣры.

Въ Aberdeen'ѣ поперечное сѣченіе трубъ уменьшилось на 54%⁰; въ Saucenne'ѣ чугунный водопроводъ, построенный въ 1880 г. и доставлявшій вначалѣ 1500 куб. метр. въ сутки, черезъ 12 лѣтъ давалъ всего 350 куб. метр. въ сутки. Въ Греноблѣ вынуждены были замѣнить чугуныя водопроводныя трубы бетонными, вслѣдствіе постепеннаго уменьшенія полезнаго сѣченія. Значительныя наросты наблюдались также въ чугунныхъ канализаціонныхъ трубахъ въ Cherbourg'ѣ, Saint-Etienne'ѣ, Utrecht'ѣ и Boston'ѣ.

Указанныя измѣненія, влекущая за собой засореніе и разрушеніе чугунныхъ трубъ, отзываются также на качествахъ воды.

*) La construction moderne, мартъ 1894 г.

Железистые отложения придают ей вкус и цвет железистых вод; землянистые же засорения способствуют развитию организмов животных и растительных.

7) Отличительной чертой железо-бетонных систем является быстрота и простота их возведения, что особенно выгодно для таких обширных и важных сооружений, как канализация и водоснабжение городов. В этом отношении блестящий пример представляют работы в Париже в течение 1898 года (возле Триеля и Мегу), где в продолжение 6 месяцев цевь устроено 25 километров канализационной сети из железо-бетонных труб диаметром от 2 до 0,40 метр. Такая быстрота объясняется возможностью производить все работы на месте укладки, благодаря быстроте и простоте всех устройств, необходимых для фабрикации и укладки труб. Поэтому является возможность вести работы одновременно на нескольких участках и весь вопрос сводится к доставке необходимых материалов. Подобная независимость позволяет заготавливать трубы вблизи имеющих залежей песка, т. е., вообще, применять местный, имеющийся под рукой материал, что значительно удешевляет производство таких обширных работ. Во Франции железо-бетонные трубы для канализации и водопровода, подверженные значительному внутреннему давлению, оказались дешевле соответствующих чугунных на 15% — 45%. Партия рабочих в 16 — 20 человек заготавливает и укладывает в 12 рабочих часов до 100 м труб диаметром 0,80 — 1,00 м. (работы вблизи Триеля и Мегу). Данные о фабрикации труб приведены ниже.

II. Описание исполненных работ по устройству железо-бетонных каналов, подверженных внутреннему давлению.

В обыкновенных железо-бетонных покрытиях, резервуарах и трубах, не подверженных значительному давлению, применяют в большинстве случаев железные полосы круглого сечения, располагая их в виде сетки из продольных и поперечных прутьев, связанных в точках пересечений. Бетон, окружающий этот металлический остов, трамбуется; он состоит из медленно-схватывающегося цемента, песка, гравия и воды, взятых в известной пропорции.

При устройстве железо-бетонных труб большого и малого диаметра, подобное применение железа не может оказать полного сопротивления значительному внутреннему давлению воды, равно как и внешнему давлению земли.

Употребление железа круглого поперечного сечения на практике, в большинстве случаев, оправдывается:

- 1) возможностью получить его в такой профили почти всюду,
- 2) простотою всех соединений при устройстве остова и
- 3) при трамбовании бетона, содержащего гравий или крупный песок, легче достигнуть плотного прилегания бетона к железу без образования пустот, возможных при более сложных профилях.

Но, с другой стороны, надо заметить следующее:

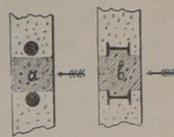
- 1) При той-же массе, поверхность прикасания бе-

тона с железом круглого поперечного сечения меньше, чем при других профилях, с более развитыми наружными поверхностями.

2) Момент инерции круглого поперечного сечения значительно меньше, чем профили, например, двутавровой, той-же площади, что влечет ту же разницу в сопротивлении изгибу, являющемуся в трубах вследствие давления земли.

3) Как показали опыты, сопротивление растяжению железа круглого поперечного сечения на 10% — 12% меньше, чем сечения двутаврового или, вообще, профили той-же площади, но с более развитыми наружными поверхностями, что объясняется более совершенной прокаткой.

4) При незначительной толщине стенки трубы (фиг. 1) часть бетона (а) заполняющего промежуток между двумя смежными полосами круглого поперечного сечения, может оказать меньшее сопротивление внутреннему давлению, чем та же масса бетона (б), заключенная между соответствующими полосами двутаврового сечения.



Фиг. 1.

На основании изложенного, для получения наибольшей прочности трубы при наименьшем ее весе, выгодно заменять железо круглого поперечного сечения — сталью с более развитой наружной поверхностью, например, двутавровой профили. Металлический остов каждой трубы можно составить из одной подобной полосы, изогнутой по винтовой линии, скрепленной несколькими полосами той-же профили, расположенными по производящим (вдоль трубы).

Для ускорения производства и получения возможно полной связи между бетоном и металлическим остовом, применяется раствор, составленный из песка и быстро-схватывающегося цемента, требующего значительно большего количества воды, чем обыкновенные медленно-схватывающиеся цементы, вследствие чего раствор получается настолько жидким, что является возможность производить отливку труб.

Применение быстро-схватывающихся цементов дает следующие преимущества сравнительно с обыкновенными, медленно-схватывающимися цементами:

- 1) Отпадает работа трамбования, весьма затруднительная и медленная при малой толщине труб и значительной длине их; при вертикальном положении форм для отливки труб, жидкий быстро схватывающийся раствор заполняет форму под действием собственного веса и охватывает металлический остов сложной профили без образования пустот.
- 2) Железные формы могут быть сняты через $\frac{1}{4}$ часа и применены для следующей отливки, что удешевляет производство.
- 3) Быстрота и простота всех работ; через 2 — 3 дня после отливки возможна укладка труб и засыпка их землею.

Этот способ фабрикации железо-бетонных труб, подверженных значительному внутреннему давлению, разработан во Франции в 1889 году и применен в несколько измененном виде для канализации Парижа, начиная с 1894 года.

Но раньше этого железно-бетонные трубы получили обширное применение для устройства водоснабжения в следующих городах.

1) В Венеции (1890 г.) водопровод San-Ambrogio длиной 6495 м., диаметром 0,80 м. при толщине стенок труб 0,037 м. и внутреннем давлении до 7,40 м.

2) В Boulogne sur Seine (1892 г.)—140 м. диаметром 0,40 м. и при внутреннем давлении 2 м.

3) Blandan (Алжирь, 1892—1893 г.):

Сифоны:

Длина.	Диаметр труб.	Толщина стенок труб.	Давление.
а) 1623 м.	0,600 м.	0,040 м.	13,80 м.
б) 645 »	0,600 »	0,040 »	13 »
в) 1738 »	0,600 »	0,040 »	18 »
г) 943 »	0,600 »	0,045 »	24 »
д) 608 »	0,600 »	0,040 »	8,50 »

4) Morris et Bone (Алжирь, 1894—1895 г.).

Сифоны:

Длина.	Диаметр труб.	Толщина стенок труб.	Давление.
а) 1650 м.	0,300 м.	0,040 м.	12 м.
б) 462 »	0,600 »	0,045 »	15,50 »
в) 625 »	0,600 »	0,045 »	16 »
г) 26 573 »	0,600 »	0,045 »	22 »
д) 2 963 »	0,600 »	0,045 »	18 »

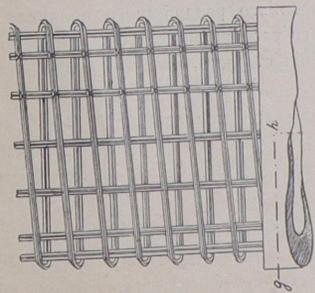
5) Alfortville, Maison et Gréteil (1893—1894 г.) 4870 м., диаметром 0,500 м., при толщине стенок труб 0,045 м. и давлении в них 18 м.

В общем получается 48250 м. железно-бетонных труб, подверженных внутреннему давлению до 24 м. (2,4 атмосферы).

После ряда опытов пришлось отказаться от отливки труб с раструбами, главным образом, в виду трудности сохранить их в исправности при перевозке таких тяжелых труб. Оказалось более удобным соединить цилиндрические трубы помощью железно-бетонных колец, прикрывающих стыки и соединенных с трубами таким-же быстро-схватывающимся цементом.

Во всех чертах fabrication труб диаметром до 1,5—2 метров сводится:

1) Къ приготовлению металлическаго остова изъ железных или стальныхъ полосъ двугавровой профили, изогнутыхъ по винтовой линии (фиг. 2) и



Фиг. 2.

скрепленныхъ такими-же продольными полосами, рас-

положенными по производящимъ. Эти полосы привязываются проволокой къ каждому витку, препятствуютъ изменению расстояній между ними и, вообще, придаютъ требуемую жесткость всему остову. Въ то-же время прямыя полосы сопротивляются продольному изгибу трубы и вмѣстѣ съ витками изогнутой полосы образуютъ небольшія клетки, которыя доставляютъ надлежащую прочную опору для бетона, окружающаго остовъ и подверженнаго внутреннему или внешнему давлению.

2) Къ отливкѣ, имѣющей цѣлю образовать бетонныя стѣнки трубъ, окружающія металлическій остовъ.

Для получения вполне правильной винтовой линии, железныя (стальныя) полосы прокатываются въ холодномъ состояніи помощью особыхъ станковъ, дающихъ возможность изменять радиусъ и шагъ винтовой полосы. Сообразно требуемой длинѣ трубы, одна или нѣсколько изогнутыхъ полосъ накладываются на горизонтальный деревянный барабанъ; витки изогнутой полосы, послѣ повѣрки расстоянія между ними, скрепляются продольными полосами посредствомъ проволочныхъ перевязокъ. Для усиленія концовъ трубы, уменьшаютъ постепенно расстояние между нѣсколькими крайними витками.

Для опредѣленія поперечнаго сѣченія S изогнутой полосы и расстоянія E между ея витками применяются слѣдующія практическія формулы:

$$1.033 \frac{e}{d} \dots$$

гдѣ: e — выражаетъ въ сантиметрахъ толщину стѣнки воображаемой стальной или железной трубы, способной оказать при нѣкоторой длинѣ E то же сопротивление, какъ одинъ витокъ изъ полосы искомаго поперечнаго сѣченія S ;

n — давление въ атмосферахъ,

d — внутренний диаметръ трубы въ сантиметрахъ,

k — прочное сопротивление материала винтовой полосы.

Сопротивленіе растяженію бетона не принималось во вниманіе.

Приравнявъ сопротивленіе этой воображаемой трубы сопротивленію одного витка при расстояніи между смежными витками равномъ E , получимъ

$$E \cdot e = S \dots \dots \dots (2)$$

По этой формулѣ, зная величину e изъ перваго уравненія, можно опредѣлить поперечное сѣченіе полосы S , задавшись известнымъ расстояніемъ E между витками, или, обратно,—получить шагъ винтовой линии E при данномъ сѣченіи S .

При устройствѣ водопровода въ Bone'ѣ (Алжирь) изъ железно-бетонныхъ трубъ диаметромъ $d=0,600$ м., подверженныхъ внутреннему давленію отъ 15 м. до 25 м., были применены двугавровыя полосы высотой 12 мм., весомъ 0,212 кгр. погон. метръ при поперечномъ сѣченіи 0,2688 см².

При толщинѣ бетонной стѣнки 0,04 м. внутренней диаметръ винтовой спирали $d=0,638$ м.

Давленію 15 м. соотвѣтствуетъ $n = 1,5$ атм. Подставляя данныя величины въ формулу (1), получимъ:

$$e = \frac{1.033 \cdot 1,5 \cdot 63.8}{2 \cdot 1500} = 0,03295 \text{ см.}$$

(1500 kg/cm^2 выражаетъ прочное сопротивленіе стали растяженію).

Изъ формулы (2) слѣдуетъ, что искомое разстояніе между витками

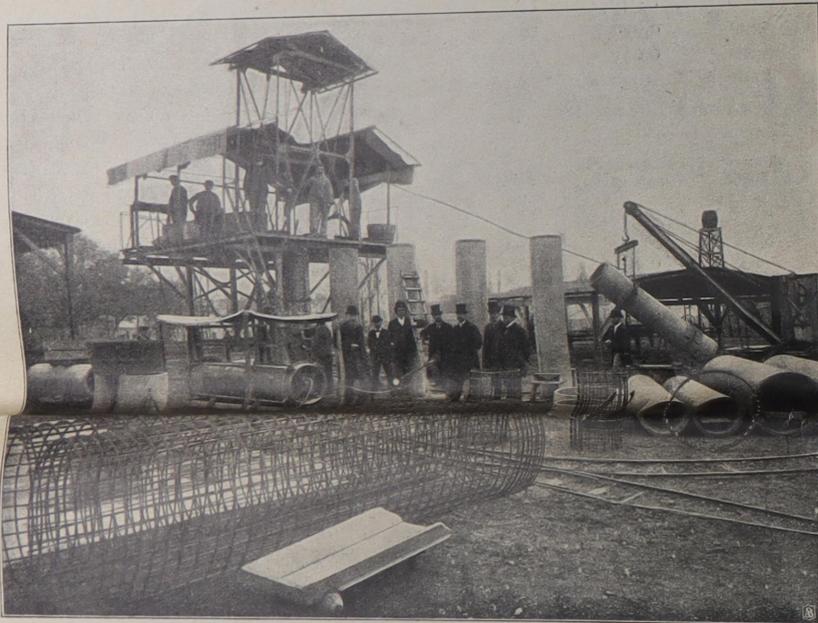
$$E = \frac{S}{e} = \frac{0,2688}{0,03295} = 8,158 \text{ см}$$

При внутреннемъ давленіи 25 м. толщина бетон-

стѣнки трубъ утолщаются для полученія возможно полной непроницаемости, зависящей отъ состава бетона и, главнымъ образомъ, отъ количества цемента.

Въ общемъ, отливка трубъ производится слѣдующимъ образомъ:

На ровной мѣстности (фиг. 3) располагается железнодорожно-дорожный путь шириною до 2-хъ м. для передвиженія особой вышки съ платформой, расположенной на высотѣ, почти равной длинѣ трубъ, т. е. около 3-хъ метр. Вышка снабжена приспособленіями, необходимыми: 1) для ея передвиженія, 2) для подъема и опусканія металлическихъ формъ, 3) для подъема



Фиг. 3.

ныхъ стѣнокъ трубы увеличена до 4,5 см.; при той же профили полосъ внутренній діаметръ винтовой спирали

$$d = 0,642 \text{ м.}$$

Поэтому

$$e = \frac{1.033 \cdot 2,5 \cdot 64,2}{2 \cdot 1500} = 0,05527 \text{ см.}$$

и разстояніе между витками

$$E = \frac{0,2688}{0,05527} = 4,86 \text{ см.}$$

Сопротивленіе бетона растяженію, какъ сказано выше, не принимается въ расчетъ. Толщина бетонныхъ стѣнокъ опредѣляется слѣдующими условіями:

1) Металлическія части остова должны быть покрыты слоемъ бетона, предохраняющимъ ихъ отъ разрушительнаго дѣйствія воды, для чего достаточна толщина его 1—2 см.

2) По мѣрѣ увеличенія внутренняго давленія,

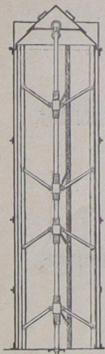
необходимыхъ матеріаловъ, и 4) твориломъ, бочками и проч. для приготовленія быстро-схватывающагося раствора.

Формы для отливки состоятъ изъ:

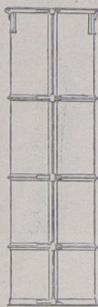
- 1) разборчатаго наружнаго цилиндра (фиг. 5),
- 2) внутренняго раздвижнаго цилиндра (фиг. 4), снабженнаго распорками, измѣняющими его діаметръ при вращеніи стержня, расположеннаго по оси формы, и
- 3) конического колпака, покрывающаго внутренней цилиндръ (фиг. 4) и служащаго для равномернаго распределенія жидкаго бетона, вытекающаго изъ твора.

По оси пути въ каждой шпалѣ имѣется отверстіе, облегчающее правильную сборку и установку формъ. Принимая его за центр, располагаютъ кольцо изъ желѣза, ширина котораго равна толщинѣ отливаемой бетонной трубы; на кольцо устанавливаютъ остовъ, опускаютъ внутрь его раздвижной цилиндръ такъ,

чтобы конец осевого стержня вышел в отверстие шпала.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

Вращая затѣмъ стержень, увеличиваютъ диаметръ раздвижного цилиндра настолько, чтобы его наружная поверхность у основанія плотно прилегала къ внутреннему ребру кольца, опредѣляющему внутренний диаметръ трубы. Вслѣдъ за этимъ устанавливаютъ наружную разборчатую форму такъ, чтобы она охватила съ внѣшней стороны то же кольцо. Металлическій остовъ удерживается сверху въ надлежащемъ положеніи помощью деревянныхъ клиньевъ. Во время этой сборки формы приготавливаютъ растворъ въ количествѣ, необходимомъ для отливки одной трубы, и затѣмъ выпускаютъ его изъ тюрела на коническій колысокъ. Жидкій растворъ изъ быстро-схватывающагося цемента заполняетъ промежутокъ между внутреннимъ и внѣшнимъ цилиндрами и плотно прилегаетъ къ металлическому остову. Деревянные клинья, удерживавшіе остовъ, вынимаются, и бетонъ разравнивается лопатками по обрѣзу трубы.

Вслѣдъ затѣмъ уменьшаютъ диаметръ внутреннего цилиндра; вращая центральный стержень, поднимаютъ этотъ цилиндръ поверхъ платформы и передвигаютъ вышку къ мѣсту отливки слѣдующей трубы, гдѣ и производятъ описанную выше сборку. Наружная форма снимается черезъ 15—20 минутъ.

По снятіи формы труба остается въ вертикальномъ положеніи на мѣстѣ отливки въ теченіе 3-хъ дней, т. е. пока не произойдетъ полное схватываніе цемента, а затѣмъ, помощью подвижного крана, укладывается на вагонетки для отвозки въ депо или къ мѣсту укладки.

Описанное устройство даетъ возможность приготовить въ 1 часъ три трубы діаметромъ отъ 0,65 м. до 1,00 м. и длиною 3 м., что составляетъ въ 1 день 12 рабочихъ часовъ): 3 · 12 = 108 погонн. метровъ при числѣ рабочихъ отъ 8 до 11 человекъ.

Для ускоренія производства можно уширить путь для передвиженія вышки настолько, чтобы отливать одновременно по двѣ трубы.

Жельзо-бетонныя кольца для скрѣпленія стыковъ трубъ отливаются въ подобныхъ же формахъ, какъ и трубы. Внутренний діаметръ кольца на 3—4 сант. больше наружнаго діаметра трубы; ширина же кольца

отъ 20 до 25 сант. въ зависимости отъ діаметра. При устройствѣ стыка зазоръ между внутренней поверхностью кольца и наружными поверхностями соединяемыхъ трубъ заполняется жидкимъ растворомъ изъ 1 части (по объему) песку и 1 части быстро-схватывающагося цемента.

Составъ бетона для отливки трубъ и колець—700 килогр. быстро-схватывающагося цемента на 1 куб. метръ песку.

Для отвода сточныхъ водъ Парижа на поля орошенія возлѣ Триелья и Мери проложено въ теченіе 1898 года до 25 километровъ стале-бетонныхъ трубъ подобной же системы, съ тою только разницею, что двуглавое сѣченіе остова замѣнено сталью крестообразнаго сѣченія.

Но подобная профиль менѣе выгодна, чѣмъ двуглавая, такъ какъ:

- 1) при той же площади поперечнаго сѣченія моментъ инерціи крестообразной формы меньше, чѣмъ двуглавовой;
- 2) при деформациіи остова вертикальныя ребра крестообразнаго сѣченія стремятся разрѣзать бетонъ, дѣйствуя подобно клиньямъ, и
- 3) скрѣпленіе продольныхъ полосъ съ винтовой полосой остова не такъ жестко и удобно, какъ при другихъ профиляхъ. Введеніе указанной крестообразной профили объясняется чисто спекулятивными цѣлями и было достаточно для полученія патента на новую систему стале-бетонныхъ трубъ. Всѣ устройства и приемы для приготовления этихъ трубъ, описанные и отличающіе отъ описанныхъ выше.

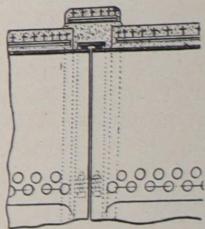
Трубы подобнаго устройства примѣнены для распределенія сточныхъ водъ Парижа по полямъ орошенія возлѣ Триелья и Мери при внутреннемъ давленіи до 13 м. и при внутреннихъ діаметрахъ отъ 2 до 0,40 м. Въ случаѣ давленія большаго 13 м., для устраненія фильтраціи сточныхъ водъ черезъ бетонныя стѣнки, примѣнены тонкіе стальные листы, прилегающіе къ внутренней поверхности трубы описаннаго устройства, или-же тѣ же листы расположены внутри стѣнокъ ея между двумя металлическими остовами.

При діаметрахъ, большихъ 1,5 м., металлическій остовъ составляетъ изъ отдѣльныхъ колець указанной крестообразной профили, связанныхъ продольными прямыми полосами. Какъ примѣръ устройства подобныхъ трубъ, можно привести каналъ вблизи Argenteuil (Парижъ) длиною 1500 м., діаметромъ 1,80 м., составленный изъ отдѣльныхъ трубъ длиною 2,50 м. Часть этихъ трубъ, подверженныхъ давленію отъ 13 до 60 м., до 15,35 м. снабжена внутренней трубой изъ листовой стали толщиной 3,5 милл. (фиг. 6), а при давленіи больше 15,35 м.—подобной же трубой толщиной 4,5 милл.

Металлическій остовъ составленъ изъ отдѣльныхъ стальныхъ колець крестообразной профили, размѣра 40—22—3 милл. разстояніе между кольцами при давленіи 17—22 м. равно 9 сант., при давленіи 7 м.—равно 20 сант.; разстояніе между продольными полосами равно разстоянію между кольцами.

Внутренняя стальная труба составлена изъ 4-хъ стальныхъ листовъ, соединенныхъ заклепками (фиг. 6)

Приготовление таких стале-бетонных труб, в общем, ничем не отличается от описанных выше; в данном случае при отливке роль внутреннего цилиндра формы исполняет *стальная труба*. Стыки этих труб устроены следующим образом: концы



Фиг. 6.

внутренней стальной трубы выступают относительно бетонных стенок на 6 сант. (фиг. 6). Стык стальных труб покрывается каучуковым кольцом с двумя ребрами, поверх которого располагается другое кольцо, составленное из трех стальных полос с загнутыми кольцами, соединенных болтами. Подвижная гайки болтов, можно получить надлежащее сжатие каучукового кольца.

Вслед за тем на стык надвигается стале-бетонное кольцо шириною 28 сант. толщиной 8 сант. (фиг. 6) такого же устройства, как и стѣнки трубы, внешнего диаметра трубы.

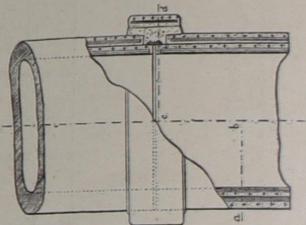
Удерживая это кольцо в надлежащем положении, заливают весь стык жидким раствором быстро-схватывающегося цемента. Подобное устройство стыков оказалось на практикѣ очень прочным и непроницаемым для воды.

В 1893 г. инженер Лауау произвел испытание стале-бетонной трубы диаметром 0,50 м., составленной из стальной трубы толщиной 1 мил., помещенной внутри стале-бетонной, остов которой был сформан из полосы крестообразнаго сѣченія, изогнутой по винтовой линіи ¹⁾. Толщина стѣнок бетонной трубы 3,5 сант.; состав бетона 1 часть цемента на 1 часть (по объему) песку.

Труба рассчитана на давленіе 20 метровъ. При постепенномъ увеличеніи давленія наблюдалось легкое просачиваніе воды по линіи заклепок внутренней стальной трубы при давленіи 118 м. (11,8 атм.).

При давленіи 120 м. пришлось прекратить опытъ вслѣдствіе порчи одной изъ чугунныхъ крышекъ. Вслѣдъ затѣмъ труба была разрѣзана, и выяснилось, что наружная стале-бетонная труба не была вовсе повреждена и связь ея со внутренней, стальной, оказалась вполне прочной. Въ трубахъ подобнаго устройства внутренняя стальная обертка назначается только для устраненія фильтраціи черезъ стѣнки стале-бетонной трубы, и сопротивленіе ея внутреннему давленію не принимается въ расчетъ. Но въ действительности сталь подвержена разрушительному действию сточныхъ водъ, хотя въ меньшей степени, чѣмъ чугунъ и желѣзо,

Для предохраненія подобной обертки отъ ржавчины предложено было располагать стальные листы въ бетонныхъ стѣнкахъ трубы между двумя остовами изъ желѣзныхъ полосъ, изогнутыхъ по винтовой линіи (фиг. 7):



Фиг. 7.

Трубы подобнаго устройства диаметромъ отъ 1,10 м. до 0,40 метр. примѣнены для распределенія сточныхъ водъ Парижа по полямъ орошенія d' Achères при общей длинѣ сѣти 14 килом. и при внутреннемъ давленіи до 40 м. (4 атм.).

Расположеніе стальныхъ листовъ въ бетонныхъ стѣнкахъ вполне обезпечиваетъ ихъ отъ ржавчины, вслѣдствіе чего можно съ большою увѣренностью рассчитывать не только на отсутствіе фильтраціи, но также и на сопротивленіе внешнимъ силамъ. Внутреннее давленіе распределяется ими равномерно между всеми частями наружнаго остова; бетонъ, заключающій клѣтки остова, подверженъ меньшимъ напряженіямъ и не можетъ быть выбитъ при значительномъ внутреннемъ давленіи.

Съ теоретической точки зрѣнія расположеніе сплошныхъ стальныхъ листовъ въ стѣнкахъ трубъ невыгодно, такъ какъ раздѣляетъ всю массу бетона на двѣ концентрическія трубы, вслѣдствіе чего при значительныхъ деформацияхъ могутъ получиться отколы бетона.



Фиг. 8.



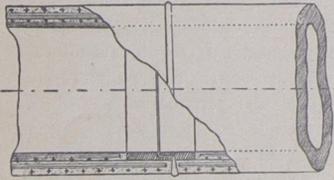
Фиг. 9.

Для увеличенія упругости подобной сплошной прокладки и уменьшенія ея вреднаго вліянія на стѣнки трубы, стальные листы соединены лежачими фальцами (фиг. 8 и 9).

Отливка трубъ въ общемъ производилась подобно описанной выше.

Для устройства стыка стальные листы обнажены по концамъ каждой трубы на ширину 5 сант.; особая каучуковая прокладка, стянутая наружными стальными кольцами (фиг. 7), прикрывала стыкъ стальныхъ листовъ; поверхъ бетонныхъ трубъ располагались стале-бетонныя кольца, а затѣмъ производилась заливка стыка жидкимъ растворомъ изъ быстро-схватывающаго цемента. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ были устроены другаго рода стыки, допускающіе измѣненіе длины и нѣкоторое вращеніе трубъ.

Для этого къ внутренней поверхности стальных листов (фиг. 10) припаивались по концам трубы особыя чугунныя кольца, стыкавшіяся по конической поверхности съ нѣкоторымъ зазоромъ, заполненнымъ суриковой замазкой. Съ наружной стороны стыкъ



Фиг. 10.

бетонныхъ трубъ заполнялся цементнымъ растворомъ. Подобнаго рода стыки примѣняются въ Англии при укладкѣ чугунныхъ канализаціонныхъ трубъ и дали прекрасные результаты.

Расположеніе стальныхъ листовъ въ бетонныхъ стѣнкахъ трубъ между двумя остовами вполне обезпечиваетъ эти прокладки отъ ржавчины, но, съ другой стороны, какъ бы разделяетъ всю массу бетона на двѣ концентрическія трубы и вводитъ нѣкоторую неопредѣленность въ распредѣленіи сопротивленія между внутреннимъ и наружнымъ остовомъ.

Поэтому при практическомъ расчетѣ трубъ этого типа принималось во вниманіе только сопротивленіе вѣнчаго остова, состоящаго изъ стальныхъ полосъ крестообразнаго сѣченія, изогнутыхъ по винтовой линіи, и продольныхъ прямыхъ полосъ той же профили, прикрѣпленныхъ къ виткамъ проволочными перевязками.

Разстояніе между витками E опредѣлялось по формулѣ:

$$E = \frac{S \cdot 2 R}{H \cdot D}$$

гдѣ: S —поперечное сѣченіе въ миллиметрахъ изогнутыхъ стальныхъ полосъ.

R —прочное сопротивленіе стали растяженію;

H —внутреннее давленіе воды, выраженное въ метрахъ;

D —діаметръ трубы въ метрахъ.

Въ дѣйствительности внутренней желѣзныи остовъ и стальные листы принимаютъ также нѣкоторое участіе въ общемъ сопротивленіи трубы, поэтому при подобномъ расчетѣ получается значительный избытокъ желѣза, являющійся слѣдствіемъ той неопредѣленности въ распредѣленіи силъ, которую вводитъ примѣненіе внутреннихъ стальныхъ листовъ.

Въ этомъ отношеніи, для полученія полной непроницаемости желѣзо-бетонныхъ трубъ, выгоднѣе примѣнить тонкіе свинцовые листы, составляющіе внутреннюю обертку, сопротивляющуюся наилучшимъ образомъ химическому дѣйствию сточныхъ водъ. Тонкіе свинцовые листы, при мягкости и тягучести этого матеріала, не могутъ имѣть значительнаго вліянія на распредѣленіе внутреннихъ силъ въ стѣнкахъ

трубъ, поэтому является большая вѣроятность избытка излишка желѣза при расчетѣ.

Какъ примѣръ примѣненія свинцовыхъ листовъ для полученія непроницаемыхъ для воды каналовъ, можно привести внутреннее устройство стѣнокъ канала около Frette, входящаго въ составъ канализаціонной стѣи Парижа. Длина арочнаго акведука 93 м., діаметръ (внутренній) цилиндрическаго канала 3 м., толщина каменныхъ стѣнокъ его 0,30 м.

Внутренняя поверхность канала была покрыта тонкимъ слоемъ штукатурки изъ цементнаго раствора, поверхъ которой располагались свинцовые листы толщиной 0,8 милл. а затѣмъ стѣнки изъ тонкихъ желѣзныхъ полосъ крестообразнаго поперечнаго сѣченія, связанныхъ проволочными перевязками. Слой цементнаго раствора толщиной 3 сант. предохраняетъ желѣзо отъ разрушительнаго дѣйствія сточныхъ водъ, а свинцовые листы—отъ порчи при чисткѣ канала и проходѣ рабочихъ. Въ общемъ желѣзная стѣнка съ цементнымъ растворомъ образуетъ отдѣльную внутреннюю трубу, независимую отъ окружающей каменной кладки и обладающую большей упругостью. Вслѣдствіе этого всѣ неизбежныя измѣненія объема каменной кладки канала, вызываемыя осадкой или перемѣнами температуры не нарушаютъ полной непроницаемости канала. Надъ опорами арокъ пролетомъ 20 метр., вслѣдствіе рѣзкихъ измѣненій температуры, получились въ кладкѣ вертикальныя трещины, открывающіяся зимой и исчезающія лѣтомъ, но, благодаря указанному внутреннему устройству канала, не наблюдается никакой течи или фильтраціи сточныхъ водъ.

Свинцовая внутренняя обертка, не покрытая оппсанной желѣзо-бетонной стѣнкой, примѣнена также въ акведукѣ d'Arcueil парижской стѣи.

Кромѣ канализаціи Парижа, желѣзо-бетонныя трубы съ внутренней стальной оберткой получили примѣненіе при устройствѣ новаго водопровода въ городѣ Nimes'ѣ.

Чугунный водопроводъ діаметромъ 0,80 м., построенный въ 1872 г., рѣшено было замѣнить новымъ желѣзо-бетоннымъ, діаметромъ 0,90 м., вслѣдствіе частыхъ поврежденій (разрывовъ) чугунныхъ трубъ и уменьшенія ихъ діаметра, благодаря образованію наростовъ на внутреннихъ стѣнкахъ.

Новый водопроводъ, длиною 1 километръ, назначался для подъема воды изъ Роны въ водонапорную башню помощью двухъ насосовъ, подающихъ въ сутки 24,000 куб. метровъ воды; расчетное давленіе въ трубахъ 100 м. (10 атм.).

Трубы состояли:

1) изъ внутренней стальной трубы, толщина стѣнокъ которой равна 6 милл.

2) наружнаго стального остова изъ полосъ крестообразной профили, изогнутыхъ по винтовой линіи, скрѣпленной такими же прямыми полосами, и

3) цементнаго раствора состава 750 килогр. на 1 куб. метръ песка, покрывающаго стальную трубу и остовъ.

Длина трубъ 7,50 м. при внутреннемъ діаметрѣ 0,90 м. Отливка ихъ производилась подобно

описанному выше, в особых траншеях глубиной 5 м.

Соединение труб производилось помощью резинового, стального и железобетонного колец, согласно описанному для труб с внутренней стальной оберткой.

В течение нескольких первых дней эксплуатации было замечено слабое просачивание воды в некоторых трубах, что было вызвано плохой склейкой стальных листов, но вследствие затѣм просачивание прекратилось, и водопровод остался вполне исправным в дальнейшей службѣ*).

Изъ всего изложеннаго можно сдѣлать заключеніе, что стале-бетонныя трубы могутъ получить примѣненіе при устройствѣ канализации и водоснабженія городовъ. Сталь, подверженная непосредственному дѣйствию воды, окисляется въ меньшей степени, чѣмъ желѣзо и чугуны; широкое примѣненіе стальныхъ трубъ для газопровода (la Cie Parisienne du gaz) показало, что сталь подвержена вообще сравнительно ничтожному окисленію. При надлежащемъ же сочетаніи съ бетономъ, сталь и желѣзо вполне предохранены отъ ржавчины и могутъ оказать полное сопротивленіе дѣйствию вѣшнихъ силъ. Упругость стале- или желѣзо-бетонныхъ трубъ дѣлаетъ ихъ мало чувствительными къ осадкѣ земли и, вообще, къ тѣмъ условіямъ, которыя вызываютъ частыя разстройства чугунныхъ сѣтей. Простота и легкость всѣхъ работъ и приспособленій для фабрикаціи такихъ трубъ позволяютъ производить ихъ быструю заготовку на мѣстѣ укладки и употребляется значительная экономія при примѣненіи такихъ трубъ (15%—45%) сравнительно съ чугунными.

Въ прилагаемой таблицѣ приведены главнѣйшія данныя для трубъ стале-бетонныхъ со стальными листами, расположенными между двумя остовами.

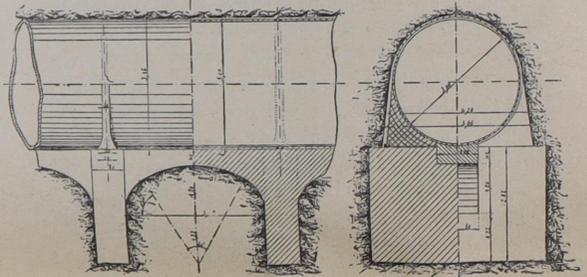
Данныя для трубъ, расположенныхъ на поляхъ орошенія d'Achères.	Внутренній діаметръ трубъ въ метрахъ.				
	1,10	1,00	0,80	0,60	0,40
Давна	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Наружный діаметръ	1,24	1,13	0,92	0,71	0,49
Толщина стѣнокъ трубъ	0,070	0,065	0,060	0,055	0,048
Вѣсъ трубъ въ килограммахъ	2130	1695	1235	830	490
Толщина стальныхъ листовъ	0,0006	0,0006	0,0006	0,0003	0,0006
Внутренній діаметръ стальной трубы	1,15	1,05	0,85	0,65	0,45
Число витковъ наружной и внутренней витовой полосы остова	60	60	52	52	50
Вѣсъ 1 погон. метра полосы крестообразной профили	0,685	0,685	0,410	0,410	0,210
Общій вѣсъ стали (килогр.)	299	255	180	111	56
<i>Колма для стѣнокъ трубъ.</i>					
Длина	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Внутренній діаметръ	1,29	1,18	0,97	0,76	0,53
Вѣшній діаметръ	1,42	1,30	1,08	0,86	0,61
Толщина польца	0,065	0,06	0,055	0,05	0,04
Вѣсъ польца (килограм.)	160	130	110	70	35
Вѣсъ металла	18	14,7	10,5	6	3
Стоимость полной укладки при глубинѣ ровъ отъ 1,34 до 2,24 м.м. (фрагментъ на 1 пог. метр.)	90	70	42	33	19

* См. «Le Ciments», 1898 г. № 6.

Практика показала, что укладка стале-бетонныхъ трубъ длиной 3 м. производится безъ особенныхъ затрудненій при діаметрѣ ихъ 1,10 м. — 1,25 — 1,5 м. При большихъ-же діаметрахъ вѣсъ трубъ получается настолько значительнымъ, что требуются сложныя механическія приспособленія для перевозки и укладки трубъ и теряется одна изъ выгодъ этой системы — простота устройства сѣти.

При внутреннемъ діаметрѣ каналовъ 2 м. и больше, выгоднѣе производить работу тѣмъ-же способомъ, какъ вообще при устройствѣ желѣзо-бетонныхъ сооружений, примѣняя обыкновенный медленно-схватывающійся цементъ.

Примѣромъ можетъ служить каналъ діаметромъ 3 м., длиной 2351 м., входящій въ составъ парижской канализаціонной сѣти вблизи Argenteuil'я (фиг. 11 и 12).



Фиг. 11

Фиг. 12

Бетонныя стѣнки толщиной 0,08 м. покрываютъ металлическій остовъ изъ продольныхъ и поперечныхъ стальныхъ прутьевъ діаметромъ 0,008 м., расположенныхъ на разстояніи 0,11 м. При такомъ устройствѣ вѣсъ 1 погон. метра канала равенъ 1 тоннѣ и оказался въ 18 разъ меньше вѣса каменнаго канала того-же діаметра при толщинѣ кладки въ замкѣ 0,30 м. и у опоръ 0,60 м.

Но и при такомъ сравнительно маломъ вѣсѣ опасались осадки слабого грунта, вследствие которой могли получиться трещины и вообще поврежденія канала, и поэтому были приняты слѣдующія мѣры.

1) При расчетѣ стѣнокъ канала общее сѣченіе всѣхъ поперечныхъ прутьевъ принято равнымъ поперечному сѣченію сплошной стальной трубы, способной оказать полное сопротивленіе всѣмъ силамъ, дѣйствующимъ на стѣнки канала. Принимая во вниманіе сопротивленіе продольныхъ прутьевъ и бетона, получается въ дѣйствительности значительный запасъ прочности.

2) Часть канала длиной 561,40 м. поддерживалась бетоннымъ фундаментомъ, толщина и ширина котораго изменялись въ зависимости отъ свойствъ грунта. Кромѣ того черезъ каждыя 3,20 м. были расположены особые желѣзо-бетонные контрфорсы (фиг. 11 и 12); высота ихъ 1,5 м., толщина 0,20 м. Контрфорсы эти упираются въ бетонные массивы 4,26 м. шириною и 0,80 м. толщиной, высота-же ихъ (глубина заложенія) изменяется въ зависимости отъ свойствъ грунта. Въ некоторыхъ мѣстахъ эти фундаменты поддерживаютъ

эллиптическия бетонныя арки толщиной 0,40 м., служащія опорами для канала.

Металлическій остовъ контрфорсовъ состоитъ изъ двухъ стальныхъ полосъ диаметромъ 16 мм., изогнутыхъ по вѣшнему очертанію канала и контрфорса. Концы этихъ полосъ упираются въ куски желѣза желобчатой профили, вдѣланные въ бетонный массивъ основанія. Изогнутыя полосы контрфорсовъ соединены съ соответствующими поперечными прутьями канала посредствомъ стѣжки изъ стальной проволоки диаметромъ 4 мм.

Бетонъ для контрфорсовъ и стѣнокъ канала составленъ изъ 450 кг. медленно-схватывающагося цемента на 1 куб. метръ песка; внутренняя и наружная поверхности покрыты цементной штукатуркой толщиной 1 см.

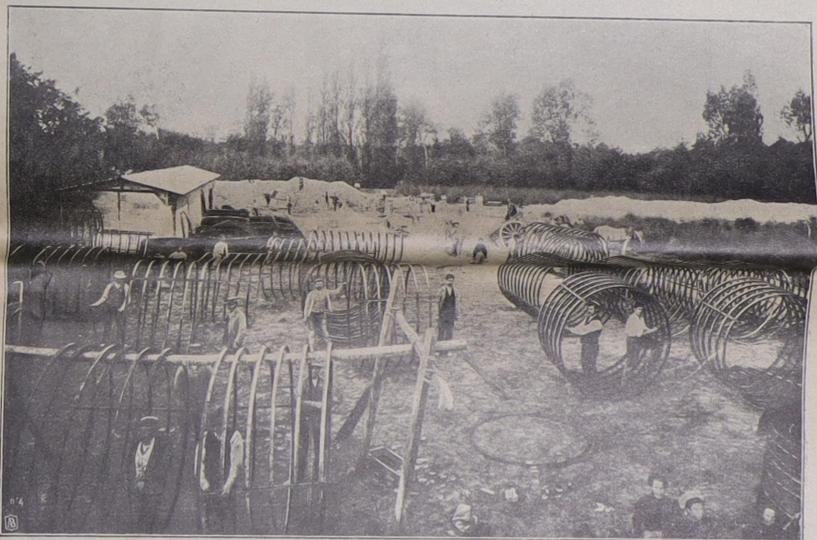
снаружи продольные прутья и расположенной по винтовой линіи.

Остовъ окруженъ бетонными стѣнками трубы толщиной 0,07 м.; составъ бетона: 600 кг. цемента на 1 куб. метръ песка. Стѣнки трубъ скрѣплены желѣзо-бетонными кольцами длиной 0,35 м., остовъ которыхъ состоитъ изъ 4 направляющихъ колецъ и 45 продольныхъ прутьевъ тѣхъ-же размѣровъ, какъ и въ трубахъ.

Трубы заготовлялись въ особыхъ горизонтальныхъ формахъ.

Стоимость 1 пог. метра этихъ трубъ (не считая земляныхъ работъ) — 43,75 франка.

Другая часть канала того же диаметра (1,2 м.) длиной 250 м. устроена въ видѣ одного непрерывнаго канала слѣдующимъ образомъ.



Фиг. 13.

Фундаменты, арки и контрфорсы безъ металлическаго остова возведены изъ бетона, составленнаго изъ 3-хъ частей гравія и 2-хъ частей раствора, содержащаго 400 кг. цемента на 1 куб. метръ песка.

Для водоснабженія Парижа (Compagnie Générale des Eaux) применены также желѣзо-бетонные каналы диаметромъ 1,20 м., рассчитанные на внутреннее давление воды 4 м. и вѣшнее давление насыпи высотой 2 м.

Часть этихъ каналовъ длиной 160 м. устроена изъ желѣзо-бетонныхъ трубъ длиной 3 м., остовъ которыхъ состоитъ: 1) изъ 31 желѣзныхъ прутьевъ толщиной по 4 мм., образующихъ отдѣльныя направляющія кольца, 2) 40 продольныхъ прутьевъ диаметромъ 8 мм., прикрѣпленныхъ къ кольцамъ проволоочными перевязками, и 3) проволоки толщиной 2 мм., охватывающей

Металлическій остовъ составленъ: 1) изъ желѣзныхъ прутьевъ толщиной 8 мм., изогнутыхъ по винтовой линіи, и 2) прямыхъ продольныхъ прутьевъ, привязанныхъ къ каждому витку проволокой такъ, чтобы получились кѣтки размѣрами отъ 0,08 до 0,10 м.

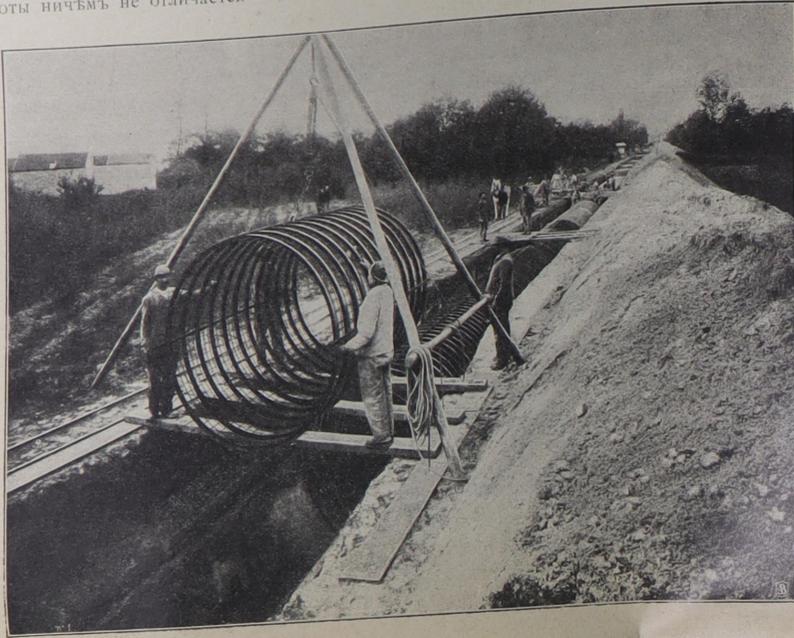
Остовъ заготавливается частями длиной 4 м.; каждое такое звено опускалось на дно рва и, послѣ надлежащей укладки, продольные прутья его соединялись проволоочными перевязками съ продольными прутьями подобной же части остова, уложенной раньше. Дно рва подготавливалось по очертанію наружной поверхности канала и служило какъ-бы готовой формой для устройства бетонныхъ стѣнокъ нижней половины канала; верхняя-же половина возводилась съ помощью переносныхъ кружалъ.

При такомъ способѣ устройства весь каналъ длиной

250 м. представлять как-бы одну монолитную трубу безъ стыковъ. Стоимость 1 пог. метра канала 42 франка. Весь ходъ работы ничѣмъ не отличается отъ способа

реннямъ давленіи воды 20 м.; толщина бетонныхъ стѣнокъ—10 сант.

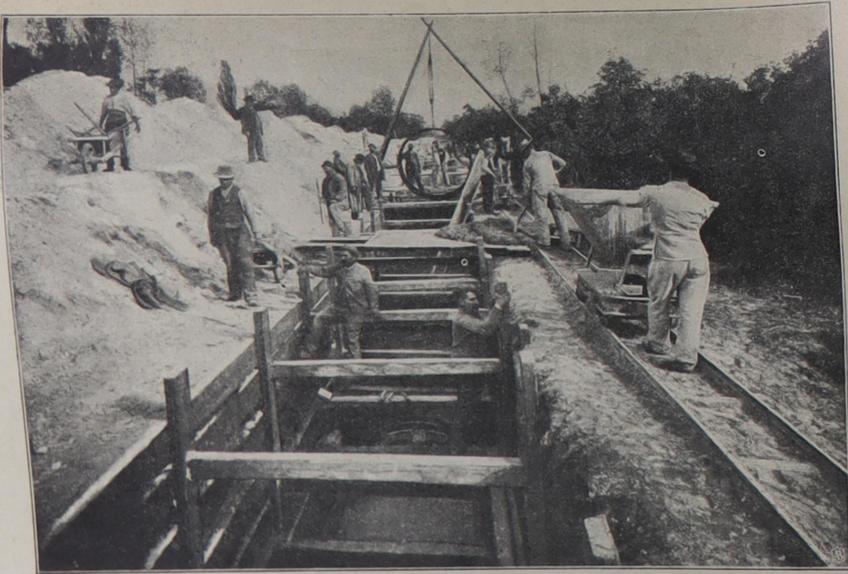
На фиг. 13 представлено приготовленіе отдѣльныхъ



Фиг. 14.

возведенія обожженныхъ желѣзо-бетонныхъ сооружений и не требуетъ механическихъ приспособленій, необходимыхъ для укладки трубъ того-же діаметра.

звеньевъ каркаса длиною 2 м.; каждое кольцо состоитъ изъ таврового желѣза; продольныя прутья проходятъ черезъ отверстія, пробитыя въ вертикальныхъ ребрахъ колець.



Фиг. 15.

На фиг. 13, 14 и 15 представлены подобныя-же работы по устройству желѣзо-бетоннаго сифона Chenevières, діаметромъ 2 м., длиною 2000 м. при внут-

Фиг. 14 изображаетъ опусканіе подобнаго звена на дно траншеи, вырыто по очертанію наружной поверхности канала.

На фиг. 13 представлен общий вид работ с противоположного конца.

Продольная прутья уложенных звеньев соединились между собой посредством загибания их концов. Между кольцами из тавравого железа, служащими основными ребрами остова, располагались 2 кольца из железных прутьев толщиной 1 сант., так, чтобы в общем получились клетки 10×10 сант. (фиг. 14). Стенки канала возводились обыкновенным способом (трамбованием) из медленно схватывающего цемента и крупного песку с помощью переносных кружал. Нижняя половина канала возводилась трамбованием изнутри; верхняя половина—трамбованием снаружи.

Из всего изложенного можно заключить, что железобетон является материалом вполне подходящим для устройства канализационных и водопроводных труб. Приведенные примеры могут служить данными для выбора той или другой системы.

III. Примеры устройства железобетонных резервуаров значительной емкости.

С точки зрения наиболее удобной формы для резервуаров является цилиндр с круговым основанием, так как вертикальные стенки его, подверженные внутреннему давлению воды, работают исключительно на растяжение. Применяя в данном случае железобетон, можно утилизировать полностью всю массу железа, подверженного растяжению и вполне предохраненного бетоном от ржавчины.

Простота и дешевизна устройства, возможность применить имеющееся под рукой полосовое железо и сравнительно ничтожные расходы на ремонт—составляют существенные преимущества железобетонных резервуаров сравнительно с железными или каменными.

Наиболее интересными примерами подобных резервуаров, отличающихся простотой устройства и значительной емкостью, являются железобетонные резервуары, устроенные в период 1893—1897 гг. для водоснабжения Парижа (La compagnie générale des Eaux) емкостью от 200 до 4000 куб. метр.

В прилагаемой ниже таблице указаны места расположения резервуаров, их диаметр, высота, емкость, стоимость и стоимость железобетонных работ, отнесенная к 1 куб. метру воды.

№	Место устройства.	Диаметр в метр.	Высота в метр.	Емкость в кубич. метрах.	Стоим. в франк.	Стоим. на 1 куб. метр. (франк.)
1	Plateau d'Avron . . .	8	4,25	200	2 675	13,37
2	Montreuil	16	5,25	1000	8 700	8,70
3	Argenteuil	16	5,25	1000	11 500	11,50
4	Aouilles	16	5,25	1000	11 500	11,50
5	Taverny	10	4,20	310	4 000	12,90
6	Champigny	16	5,25	1000	14 800	14,80
7	Nogent sur Marne . . .	14	2,40	370	7 400	20,00
8	Choisy-le-Roi	17	2,05	400	8 500	21,25
9	Châtillon № 1	32	5,25	4000	47 000	11,75
10	Châtillon № 2	32	5,25	4000	44 500	11,02

При этом №№ 1, 2, 3 и 4 представляют открытые резервуары, расположенные на местном горизонте;

резервуар № 5 также без покрытия, но врытый целиком в землю;

резервуар № 6, закрытый, расположен на местном горизонте;

№№ 7 и 8 также покрыты железобетонным сводом, но врыты в землю;

наконец, резервуары № 9 и 10 на $\frac{3}{4}$ высоты расположены ниже горизонта и поверхность свода покрыта земляною насыпью.

Во всех этих случаях бетонные стенки резервуаров заключают металлический остов, состоящий:

1) из горизонтальных железных полос прямоугольного сечения, изогнутых по дуге круга и расположенных на взаимном расстоянии 0,25 м.; поперечное сечение их увеличивается по мере приближения их к дну резервуара пропорционально гидростатическому давлению;

2) из вертикальных связей желобчатой профили, расположенных через каждые 3 м. и соединяющих все горизонтальные полосы,

и 3) из железных прутьев толщиной от 6 до 8 милл., заполняющих промежутки между вертикальными и горизонтальными полосами и образующих квадратные клетки, стороны которых равны 8 сант.

Металлический остов окружен бетонной стенкой, толщина которой изменяется по высоте в зависимости от гидростатического давления.

Для резервуаров емкостью 1000 куб. метр. при высоте их 5,25 м., толщина стенок 0,08 м. сверху и 0,12 м. у дна; для резервуаров той же высоты емкостью 4000 куб. метр., толщина стенок равна 0,10 м. сверху и 0,18 м. внизу. Состав бетона (раствора) 750 килограмм цемента на 1 куб. метр песку.

При расчете стенок приняты во внимание только сопротивление железа растяжению, вызываемому внутренним давлением воды; внешнее же давление земли, равно как и сопротивление бетона не включены в расчет.

Поперечное сечение S горизонтальных полос определялось по формуле

$$S = \frac{2}{3} \cdot \frac{1000 \text{ л. } l \cdot r}{R},$$

в которой:

r —внутренний радиус резервуара в метрах.

l —расстояние между осями горизонтальных полос, выраженное в метрах.

R —прочное сопротивление железа растяжению, отнесенное на 1 кв. метр.

$\frac{2}{3}$ —практический коэффициент.

h —расстояние от середины полосы до уровня воды.

Определив по этой формуле поперечное сечение полосы, остается подобрать наиболее удобное отношение между ее толщиной и шириной для удобного прикрепления к вертикальным связям.

Железный остов дна резервуаров составлен из полос прямоугольного сечения, расположенных по направлению радиусов и соединенных: 1) в центре дна общей накладкой из листового железа, 2) по окружности стенок желобчатым железом, к которому прикреплены вертикальные связи.

Промежутки между радиальными полосами заполнены сеткой из железных прутьев толщиной

0,006 м., скрепленных в точках пересечения проволоочными перевязками.

Остов окружен бетоном того же состава, как для стенок; под этим дном усроено сплошное основание из болѣе тощаго бетона, толщина котораго измѣняется въ зависимости отъ свойства грунта.

Горизонтальныя полосы, образующія остов стѣнокъ, изгибаются точно по окружности и прикрѣпляются къ вертикальнымъ связямъ болтами; по длинѣ же эти полосы соединяются двумя накладками и заклепками при значительныхъ размѣрахъ резервуаровъ, или же болтами—въ случаѣ резервуаровъ малой емкости.

Для устройства бетонныхъ стѣнокъ устанавливаются съ внешней стороны остова вертикальныя сплоченныя доски, образующія форму для наружной поверхности резервуара.

Рабочие размѣщаются съ внутренней стороны остова и помощью лопатокъ возводятъ бетонныя стѣнки слоями 3—4 сант., такъ, чтобы металлическій остовъ былъ вполне покрытъ бетономъ притребуемой тол-

сдѣлано по типу, представленному на фиг. 16, и состоитъ:

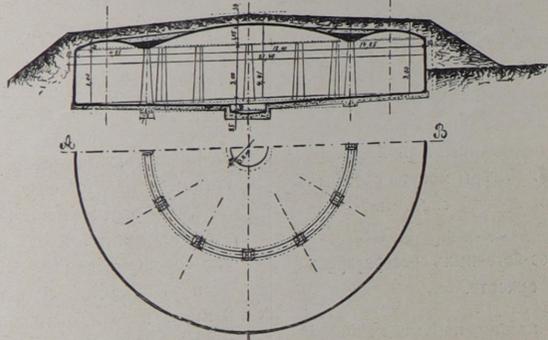
1) изъ кольцевого желѣзо-бетоннаго свода, опирающагося на наружныя стѣнки резервуара и на желѣзо-бетонныя колонны, расположенныя по окружности концентричной стѣнкамъ, и

2) изъ пологого купольнаго желѣзо-бетоннаго свода, поддерживаемаго тѣми же колоннами.

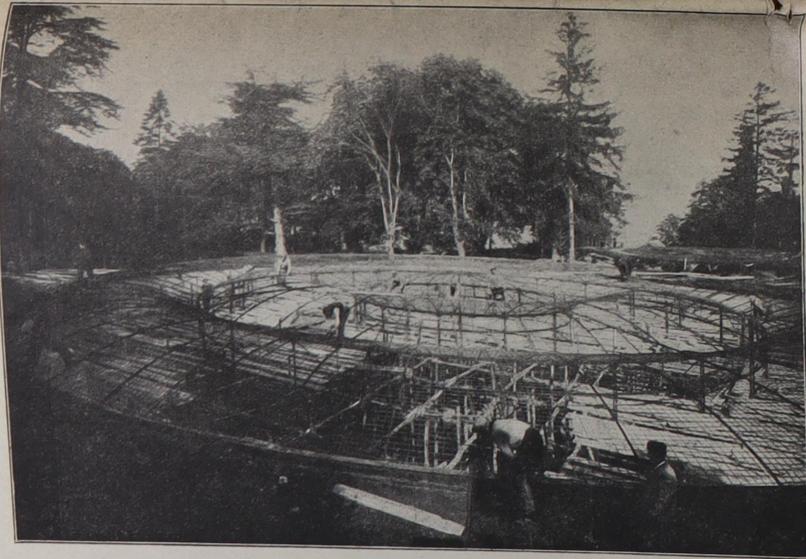
Въ резервуарахъ емкостью 4000 куб. метр., въ составъ покрытія входятъ средній купольный сводъ и два концентрическихъ кольцевыхъ свода, поддерживаемые стѣнками резервуара и колоннами, расположенными по двумъ соответствующимъ окружностямъ.

Металлическій остовъ сводовъ во всѣхъ случаяхъ состоитъ изъ однопаврового желѣза, расположеннаго по направле-

нію радиусовъ резервуара и играющаго роль направляющихъ реберъ; промежутки между ними заполнены стѣжкой изъ желѣзныхъ прутьевъ толщиной 6 милл., образующихъ кѣтки отъ 0,08 до 0,10 м.



Фиг. 16.



Фиг. 17.

Работа начинается снизу и ведется горизонтальными слоями по всему обводу.

Когда стѣнки доведены до требуемой высоты и произошло схватываніе цемента, убираютъ наружную обшивку изъ досокъ и производятъ тщательно штукатурку внутренней поверхности стѣнокъ.

Покритіе резервуаровъ емкостью 1000 куб. м.

Толщина бетоннаго свода, покрывающаго остовъ—0,08 м.

Желѣзо-бетонныя колонны состоятъ изъ склепаннаго углового желѣза и спиральной обмотки изъ толстой проволоки, доставляющей надлежащую связь бетона съ уголками.

Толщина колоннъ отъ 25 до 30 сант.

Вершины их связаны желѣзными балками, изогнутыми по соответствующей окружности и служащими опорами для сводовъ покрытия. Балки эти составлены изъ углового желѣза и предохранены отъ ржавчины слоемъ бетона толщиной 0,08 м.

Размѣры металлическихъ частей измѣняются въ зависимости отъ пролета сводовъ, диаметра резервуаровъ, нагрузки земли.

Въ резервуарахъ емкостью 1000 куб. метр. пролетъ кольцевого свода 4 м., подъемъ 0,06 м.; пролетъ же купола—8 м. при стрѣльѣ подъемъ 1 м.

Въ резервуарахъ емкостью 4000 куб. метр., средний куполь тѣхъ же размѣровъ, пролеты двухъ кольцевыхъ сводовъ 6 м., подъема ихъ 0,75 м. и 0,85 м. На фиг.

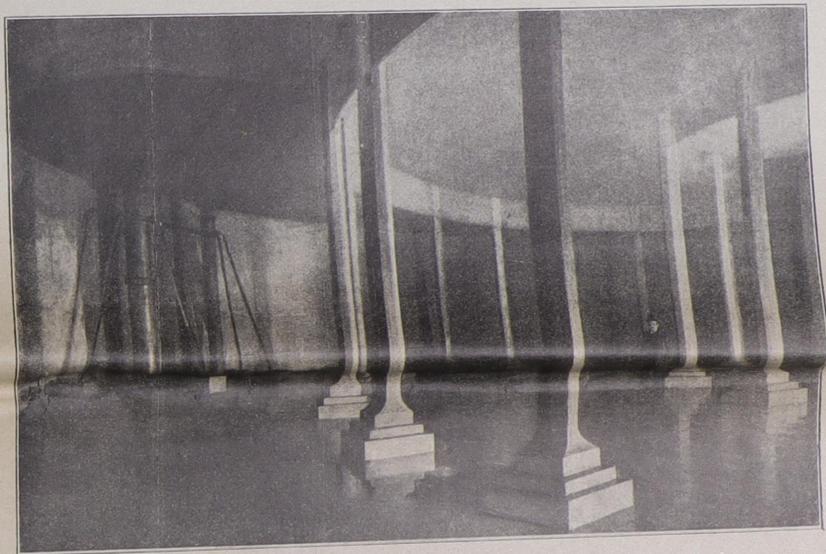
ныхъ работъ и устройства оснований, — 160 575 фр. при общей емкости 13 280 куб. м., что составляетъ:

$$\frac{160\,575}{13\,280} = 12,09 \text{ фр. на 1 куб. метръ вместимости.}$$

Благодаря монолитности и легкости всего желѣзо-бетоннаго резервуара, устройство его основанія обходится дешевле, чѣмъ соответствующаго бассейна каменнаго или бетоннаго.

3) вмѣстѣ съ тѣмъ устраняется возможность появления трещинъ и другихъ поврежденій, влекущихъ за собою утечку воды или прониканіе въ резервуаръ грунтовыхъ водъ.

4) Сравнительно ничтожные расходы на ремонтъ.



Фиг. 18.

17 представленъ желѣзный остовъ такого покрытія; на фиг. 18 внутренній видъ резервуара.

Вполнѣ удачная эксплуатация этихъ резервуаровъ значительной емкости убѣдила «Compagnie générale des Eaux» дать желѣзо-бетону возможно широкое примѣненіе при устройствѣ водопроводныхъ сооружений, такъ какъ вполнѣ выяснились слѣдующія ихъ преимущества сравнительно съ бассейнами каменными или бетонными:

1) Отсутствие какихъ-бы то ни было трещинъ и поврежденій, что объясняется рациональностью формы, а главнымъ образомъ строительными свойствами желѣзо-бетона, обладающаго значительнымъ сопротивленіемъ сжатію и растяженію.

2) Сравнительная дешевизна; общая стоимость 10 упомянутыхъ выше резервуаровъ, не включая земля-

5) Простота и быстрота устройства.

Парижскіе желѣзо-бетонные резервуары емкостью 4000 куб. метровъ, являются наибольшими изъ всѣхъ существующихъ; вообще же въ теченіи послѣднихъ 20—10 лѣтъ въ Европѣ даже резервуары малой и средней емкости устраиваются почти исключительно изъ желѣзо-бетона, благодаря сравнительной дешевизнѣ и тому существенному преимуществу, что бетонъ вполнѣ предохраняетъ желѣзо отъ разрушительнаго дѣйствія ржавчины.

Въ Германіи до 1894 г. одно общество «Actien-Gesellschaft für Monier-Bauten» устроило для водоснабженія городовъ, заводовъ и желѣзныхъ дорогъ желѣзо-бетонные резервуары общей емкостью до 14 000 куб. метровъ.