

ПРИМѢНЕНІЕ ЖЕЛѢЗО-БЕТОНА
КЪ
КАНАЛИЗАЦІИ И ВОДОСНАБЖЕНІЮ
ГОРODOBЪ.

Инженеръ-Капитанъ **Н. Житковичъ.**
татный преподаватель Николаевской Инженерной Академіи и Училища.

Дозволено цензурою С.-Петербургъ 13 мая 1899 года.

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 наиболѣе интересными являются работы, произведенныя для канализаціи и водоснабженія Парижа и представляющія многочисленныя примѣры сочетанія желѣза и бетона, сообразно тѣмъ специальнымъ требованіямъ, которыя предъявляютъ 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 Gary (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 килом. (11 лѣтъ), въ Luxemburg'ѣ 5,5 килом. (12 лѣтъ), Erlangen'ѣ—20 килом. (13 лѣтъ), Aix-la-Chapelle'ѣ—17 килом. (17 лѣтъ), Mainz'ѣ—43 килом. (18 лѣтъ), Heidelberg'ѣ 10 килом. (20 лѣтъ), Carlsruhe 50 килом. (22 года). Діаметръ каналовъ измѣняется: для круглаго поперечнаго сѣченія отъ 0,10 м. до 1,60 м. и для овальнаго—отъ 0,20 м. $\times$ 0,30 м. до 1,10 м. $\times$ 1,80 м.

Нѣкоторые городскія общества при устройствѣ канализаціи отдали предпочтеніе кирпичнымъ и каменнымъ каналамъ, опасаясь вреднаго вліянія на бетонъ горячихъ сточныхъ водъ, за-

ключающихъ много кислотъ или подверженныхъ большому давлению.

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

На запросъ, сдѣланный городскимъ управленіемъ, 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 Гау приводитъ слѣдующія сравнительныя цѣны для одного погоннаго метра каналовъ кирпичныхъ и бетонныхъ:

	Діаметры овальныхъ и круглыхъ сѣченій.					
	0,06 m. × 0,90 m.		0,80 m. × 1,20 m.		1,50 m. × 1,50 m.	
	Кирпичн.	Бетон.	Кирпичн.	Бетон.	Кирпичн.	Бетон.
Цѣна въ маркахъ	36,19	20,00	48,79	33,00	74,38	56,00

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

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, под-

верженныхъ внутреннему давленію, вынуждены были примѣнять чугуныя или желѣзныя трубы, несмотря на явную непригодность этихъ матеріаловъ, разрушающихся сравнительно быстро подъ влияніемъ сточныхъ водъ. Благодаря быстрому окисленію, прочность этихъ трубъ постепенно уменьшается, на внутренней поверхности получаютъ наросты, уменьшающіе поперечное сѣченіе и увеличивающіе сопротивленіе движенію сточныхъ водъ. Кромѣ 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 діаметра. Какъ примѣры, можно привести разрушеніе стока парижской сѣти значительнаго діаметра 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 необходимостью, за неимѣніемъ другого дешеваго матеріала, способнаго оказать требуемое сопротивленіе.

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 составъ этой сѣти вошли слѣдующія желѣзо-бетонныя сооруженія.

1) 2351 м. эллиптической галлерей 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 галлерей, толщиною 0,08 м., состоитъ изъ бетона и желѣзнаго остова, представляющаго сѣтку изъ по-

перечныхъ прутьевъ толщиною 16 мм. и продольныхъ—діаметромъ 8 мм.

2) Продолженіемъ этихъ двухъ трубъ служить желѣзо-бетонный каналъ круглаго сѣченія діаметромъ 3 м.; длина 561,40 м.; толщина стѣнокъ 0,09 м.; металлической остоу состоитъ изъ стальныхъ прутьевъ толщиною 8 мм.

3) Для распредѣленія сточныхъ водъ по полямъ орошенія служатъ до 40 километровъ трубъ стале-бетонныхъ, діаметромъ: 1,10 м., 1,00 м., 0,80 м., 0,60 м., 0,40 м. Нормальное давленіе въ нихъ до 40 м. (4 атмосферы).

Всѣ эти работы, въ связи съ другими канализаціонными сооружениями, были закончены въ 1895 году. Вполнѣ удачная эксплуатація ихъ въ теченіе 3-хъ лѣтъ убѣдила городское управленіе Парижа примѣнить желѣзо-бетонныя трубы для дальнѣйшаго развитія сѣти, имѣющаго цѣлью доставить часть сточныхъ водъ на поля орошенія возлѣ Мегу и Триеля.

Діаметръ трубъ: 2 м., 1,25 м., 1,10 м., 1,00 м., 0,80 м., 0,60 м., и 0,40 м. при общей длинѣ этой сѣти 25 километровъ. Всѣ эти работы, включая полную укладку трубъ, предполагается 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, приведены 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 долженъ 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 покрытіямъ ¹⁾ и пр. желѣзо-бетонъ получилъ быстрое развитіе въ теченіе послѣднихъ 25—30 лѣтъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ вполне выяснились слѣдующія главнѣйшія свойства желѣзо-бетона, представляющаго сочетаніе двухъ совершенно разнородныхъ матеріаловъ.

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

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

Коэффициентъ расширенія желѣза измѣняется въ предѣлахъ 0,000136—0,0000148, а для цемента примѣрно равенъ—0,0000135; поэтому, практически, эти коэффициенты 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 главные преимущества желѣзо-бетонныхъ сооружений 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. Bauchinger'омъ, показали, что сила сцѣпленія цемента съ желѣзомъ достигаетъ 40—47 kg. на см.² поверхности прикосновенія. Многочисленные опыты инжен. Feret (Boulogne sur Mer, laboratoire des Ponts et Chaussées) привели къ тому заключенію, что сила сцѣпленія бетона разнаго состава съ желѣзомъ примѣрно равно силѣ сцѣпленія между частицами 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 ея 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 наилучшимъ образомъ отъ окисленія и разрушительнаго дѣйствія ржавчины. Инженеръ Considère, занявшись изученіемъ этого вопроса, изслѣдовалъ до 50 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 растворомъ была вполне прочной.

Опыты показываютъ, что при употребленіи желѣза, покрытаго ржавчиной, окружающій 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 окружавшаго его бетона очень часто имѣетъ металлическій, голубоватый цвѣтъ.

4) Коэффициенты упругости обоихъ матеріаловъ 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, окруженные бетономъ, могутъ оказать полное свое сопротивленіе, находясь въ наивыгоднѣйшихъ условіяхъ, уничтожающихъ главный недостатокъ желѣза—быстрое разрушеніе подъ вліяніемъ 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 сопротивленіе бетона значительно увеличивается съ теченіемъ времени. Какъ примѣръ, можно привести слѣдующій опытъ Thieryau'y, директора водопроводнаго общества въ Grenoble'ѣ.

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

Другое весьма цѣнное качество желѣзо-бетонныхъ системъ—упругость, которая обезпечиваетъ прочность желѣзо-бетонныхъ трубъ. Въ этомъ отношеніи, какъ было указано выше, чугунныя и обыкновенныя керамиковыя трубы значительно уступаютъ бетоннымъ и желѣзо-бетоннымъ, вслѣдствіе чего является ихъ чувствительность къ ударамъ и дѣйствію тѣхъ случайныхъ, внѣш-

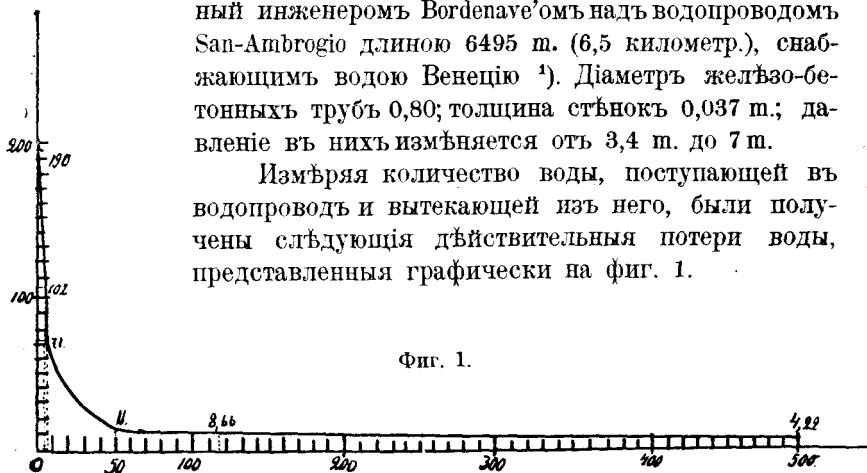
нихъ силъ, которыя являются при неправильной укладкѣ или осадкѣ земли.

5) При незначительной толщинѣ стѣнокъ желѣзо-бетонныя трубы оказались на опытѣ непроницаемыми для воды при давлении до 20 и 25 м. 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 собою къ наружной поверхности частицы свободной извести, которая заполняетъ поры и твердѣетъ, соединяясь съ углекислотой воздуха.

Въ этомъ отношеніи весьма интересенъ опытъ, произведенный инженеромъ Bordenave'омъ надъ водопроводомъ San-Ambrogio длиною 6495 м. (6,5 километр.), снабжающимъ водою Венецію ¹⁾. Диаметръ желѣзо-бетонныхъ трубъ 0,80; толщина стѣнокъ 0,037 м.; давленіе въ нихъ измѣняется отъ 3,4 м. до 7 м.

Измѣряя количество воды, поступающей въ водопроводъ и вытекающей изъ него, были получены слѣдующія дѣйствительныя потери воды, представленныя графически на фиг. 1.



Фиг. 1.

Каждое дѣленіе оси абсциссъ соотвѣтствуетъ 10 днямъ, а по оси ординатъ—10 литровъ потери въ 1 минуту.

Какъ видно изъ діаграммы, дѣйствительная потеря въ первый день открытія водопровода равна 195 литр. въ 1 минуту, на пятый день—102 литр. въ 1 минуту, на 9-й день—71 литръ, 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 срав-

¹⁾ La construction moderne, мартъ 1894 г.

нительно ничтожного количества—4,22 литр. въ 1 минуту, что составляет въ сутки:

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

При давленіи большемъ 20—25 м. для устраненія просачиванія сточныхъ водъ примѣнены для канализаціи Парижа желѣзобетонныя трубы съ внутренней оберткой изъ листовой стали. Эксплоатація этихъ трубъ болѣе сложной системы дала вполнѣ благоприятные результаты въ теченіе послѣднихъ трехъ лѣтъ.

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

Въ этомъ отношеніи можно привести слѣдующіе примѣры.

Въ Aberdeen'ѣ поперечное сѣченіе трубъ уменьшилось на 54%; въ Cayenne'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 чугунныя водопроводныя трубы бетонными, вслѣдствіе постепеннаго уменьшенія полезнаго сѣченія. Значительные наросты наблюдались также въ чугунныхъ канализаціонныхъ трубахъ въ Cherbourg'ѣ, Saint-Etienne'ѣ, Utrecht'ѣ и Boston'ѣ.

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

Желѣзистыя отложенія придаютъ ей вкусъ и цвѣтъ желѣзистыхъ водъ; земляныя же засоренія способствуютъ развитію организмовъ животныхъ и растительныхъ.

7) Отличительной чертой желѣзобетонныхъ системъ является быстрота и простота ихъ возведенія, что особенно выгодно для

такихъ обширныхъ и важныхъ сооруженій, какъ канализація и водоснабженіе городовъ. Въ этомъ отношеніи блестящій примѣръ представляютъ работы въ Парижѣ въ теченіе 1898 года (возлѣ Triel'я и Мегу), гдѣ въ продолженіе 6 мѣсяцевъ устроено 25 километровъ канализаціонной сѣти изъ желѣзо-бетонныхъ трубъ діаметромъ: 2 м.; 1,25 м.; 1,10 м.; 1,00 м.; 0,80 м.; 0,60 м. и 0,40 м. Такая быстрота объясняется возможностью производить всѣ работы на мѣстѣ укладки, благодаря быстротѣ и простотѣ всѣхъ устройствъ, необходимыхъ для фабрикаціи и укладки трубъ. Поэтому является возможность вести работы одновременно на нѣсколькихъ участкахъ и весь вопросъ сводится къ доставкѣ необходимыхъ матеріаловъ. Подобная независимость позволяетъ заготовлять трубы вблизи имѣющихся залежей песку, т. е., вообще, примѣнять мѣстный, имѣющійся подъ рукою матеріалъ, что значительно удешевляетъ производство такихъ обширныхъ работъ. Во Франціи желѣзо-бетонныя трубы для канализаціи и водопровода, подверженныя значительному внутреннему давленію, оказались дешевле соответствующихъ чугунныхъ на 15%—45%. Партія рабочихъ въ 16—20 человекъ заготовляетъ и укладываетъ въ 12 раб. часовъ до 100 м. трубъ діаметромъ 0,80—1,00 м. (работы вблизи Triel'я и Мегу). Данныя о фабрикаціи трубъ приведены ниже.

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

Въ обыкновенныхъ желѣзо-бетонныхъ покрытіяхъ, резервуарахъ и трубахъ, не подверженныхъ значительному давленію, примѣняютъ въ большинствѣ случаевъ желѣзныя полосы круглаго сѣченія, располагая ихъ въ видѣ сѣтки изъ продольныхъ и поперечныхъ прутьевъ, связанныхъ въ точкахъ пересѣченій. Бетонъ, окружающій этотъ металлическій остовъ, трамбуется; онъ состоитъ изъ медленно-схватывающаго цемента, песку, гравія и воды, взятыхъ въ извѣстной пропорціи.

При устройствѣ желѣзо-бетонныхъ трубъ большого и малаго діаметра, подобное примѣненіе желѣза не можетъ оказать полного сопротивленія значительному внутреннему давленію воды равно какъ и внѣшнему давленію земли.

Употребленіе на практикѣ, въ большинствѣ случаевъ, желѣза круглаго поперечнаго сѣченія оправдывается:

- 1) возможностью получить его въ такой профили почти всюду,
- 2) простотой велѣхъ соединеній при устройствѣ остова и

3) при трамбованіи бетона, содержащаго гравіи или крупный песокъ, легче достигнуть плотнаго прилеганія бетона къ желѣзу безъ образованія пустотъ, возможныхъ при болѣе сложныхъ профиляхъ.

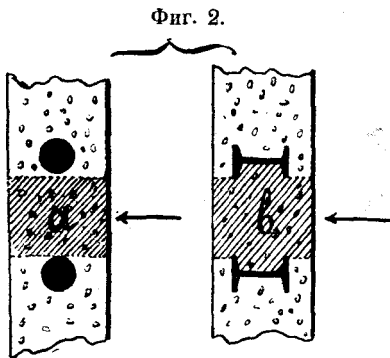
Но съ другой стороны, надо замѣтить слѣдующее:

1) При той-же массѣ, поверхность прикасанія бетона съ желѣзомъ круглаго поперечнаго сѣченія меньше, чѣмъ при другихъ профиляхъ, съ болѣе развитыми наружными поверхностями.

2) Моментъ инерціи круглаго поперечнаго сѣченія значительно меньше, чѣмъ профили, напримѣръ, двутавровой той-же площади, что влечетъ ту-же разницу въ сопротивленіи изгибу, являющемуся въ трубахъ вслѣдствіе давленія земли.

3) Какъ показали опыты, сопротивленіе растяженію желѣза круглаго поперечнаго сѣченія на 10% — 12% меньше, чѣмъ сѣченія двутавроваго или, вообще, профили той-же площади, но съ болѣе развитыми наружными поверхностями, что объясняется болѣе совершенной прокаткой.

4) При незначительной толщинѣ стѣнки трубы (фиг. 2) часть бетона (а), заполняющаго



промежутокъ между двумя смежными полосами круглаго поперечнаго сѣченія, можетъ оказать меньшее сопротивленіе внутреннему давленію, чѣмъ-та же масса бетона (b), заключенная между соотвѣтствующими полосами двутавроваго сѣченія.

На основаніи изложеннаго, для полученія наибольшей прочности трубы при наименьшемъ ея вѣсѣ, выгодно замѣнять желѣзо круглаго поперечнаго сѣченія сталью съ болѣе развитой наружной поверхностью, напримѣръ двутавровой профили. Металлическій остовъ каждой трубы можно составить изъ одной подобной полосы, изогнутой по винтовой линіи, скрѣпленной нѣсколькими полосами той-же профили, расположенными по производящимъ (вдоль трубы).

Для ускоренія производства и полученія возможно полной связи между бетономъ и металлическимъ остовомъ примѣняется растворъ, составленный изъ песку и быстро-схватывающагося цемента, требующаго значительно большаго количества воды, чѣмъ обыкновенные медленне-схватывающіеся цементы, вслѣдствіе чего

бетонъ получается настолько жидкимъ, что является возможность производить отливку трубъ.

Примѣненіе быстро-схватывающихся цементовъ даетъ слѣдующія преимущества, сравнительно съ обыкновенными медленно-схватывающимися цементами:

1) Отпадаетъ работа трамбованія, весьма затруднительная и медленная при малой толщинѣ трубъ и значительной длинѣ ихъ при вертикальномъ положеніи формъ для отливки трубъ, жидкій быстро-схватывающійся растворъ заполняетъ форму подѣйствіемъ собственнаго вѣса и охватываетъ металлическій остовъ сложной профили безъ образованія пустотъ.

2) Желѣзныя формы могутъ быть сняты черезъ $\frac{1}{4}$ часа и примѣнены для слѣдующей отливки, что удешевляетъ производство.

3) Быстрота и простота всѣхъ работъ; черезъ 2—3 дня послѣ отливки возможна укладка трубъ и засыпка ихъ землею.

Этотъ способъ фабрикаціи желѣзо-бетонныхъ трубъ, подверженныхъ значительному внутреннему давленію, разработанъ во Франціи въ 1889 году и примѣняется въ нѣсколько измѣненномъ видѣ для канализаціи Парижа, начиная съ 1894 года.

Но раньше этого желѣзо-бетонныя трубы получили обширное примѣненіе для устройства водоснабженія въ слѣдующихъ городахъ.

1) Въ Венеціи (1890 г.) водопроводъ San-Ambrogio длиною 6495 м. діаметромъ 0,80 м. при толщинѣ стѣнокъ трубъ 0,037 м. и внутреннемъ давленіи до 7,40 м.

2) Въ Boulogne sur Seine (1892 г.)—140 м. діаметромъ 0,40 м. и при внутреннемъ давленіи 2 м.

3) Blandan (Алжиръ, 1892—1893 г.):

Сифоны:

а)	1623 м.	діаметр.	0,600 м.	толщ. стѣн.,	0,040 м.,	давлен.	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 (Алжиръ, 1894—1895 г.).

Сифоны:

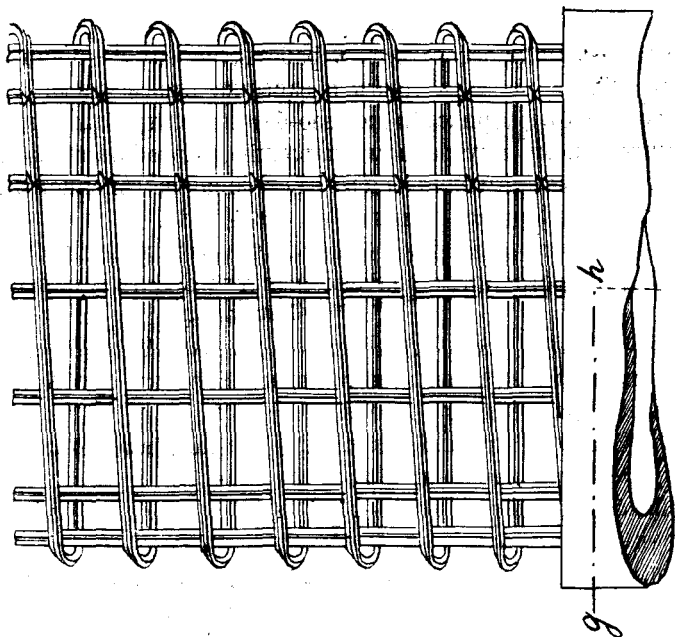
	Длина.	Діаметръ трубъ.	Толщина стѣ- нокъ трубъ.	Давленіе.
а)	1650 м.	0,300 м.	0,040 м.	12 м.
б)	462 "	0,600 "	0,045 "	15,50 "
в)	625 "	0,600 "	0,045 "	16 "
г)	26 578 "	0,600 "	0,045 "	22 "
	2 963 "	0,600 "	0,045 "	18 "

5) Alfortville, Maison et Gréteil (1893—1894 г.) 4810 м., діаметромъ 0,500 м., при толщинѣ стѣнокъ трубъ 0,045 м. и давленіи въ нихъ 18 м.

Въ общемъ получается 48 250 м. желѣзо-бетонныхъ трубъ, подверженныхъ внутреннему давленію до 24 м. (2,4 атмосферы).

Послѣ ряда опытовъ пришлось отказаться отъ отливки трубъ съ раструбами, главнымъ образомъ, въ виду трудности сохранить ихъ въ исправности при перевозкѣ такихъ тяжелыхъ трубъ. Оказалось болѣе удобнымъ соединять цилиндрическія трубы помощью желѣзо-бетонныхъ колецъ, прикрывающихъ сты-

Фиг. 3.



ки и соединенныхъ съ трубами такимъ-же быстро-схватывающимся цементомъ.

Въ общихъ чертахъ фабрикація трубъ діаметромъ до 1,5—2 метровъ сводится:

1) Къ приготовленію металлическаго остова изъ желѣзныхъ или стальныхъ полосъ двутавровой профили, изогнутыхъ по винтовой линіи (фиг. 3.) и скрѣпленныхъ такими-же продольными полосами, расположенными по производящимъ. Эти полосы привязываются проволокой къ каждому витку, препятствуютъ измѣненію разстояній между ними и, вообще, придаютъ требуемую жест-

внутреннему давлению отъ 15 м. до 25 м., были примѣнены двутавровыя полосы высотой 12 мм, вѣсомъ 0,212 kg. погон. метръ при поперечномъ сѣченіи 0,2688 см².

При толщинѣ бетонной стѣнки 0,04 м. внутренний діаметръ 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/cm² 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 бетонныхъ стѣнокъ трубы увеличена до 4,5 см.; при той-же профили полосъ внутренний 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.

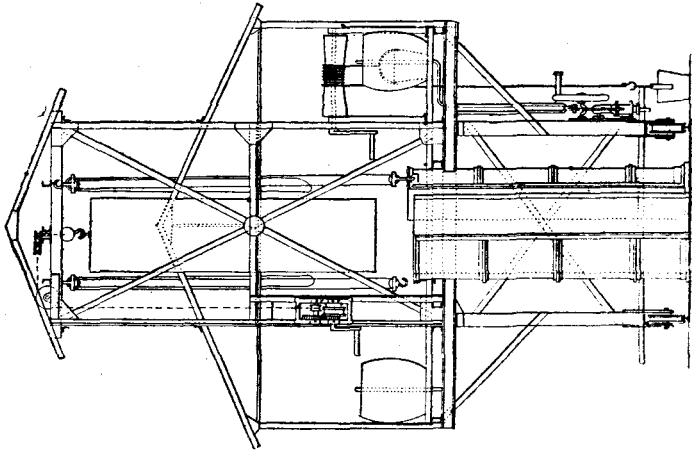
2) По мѣрѣ увеличенія внутренняго давленія, стѣнки трубъ утолщаются для полученія возможно полной непроницаемости, зависящей отъ состава бетона и, главнымъ образомъ, отъ количества цемента.

Въ общемъ, отливка трубъ производится слѣдующимъ образомъ.

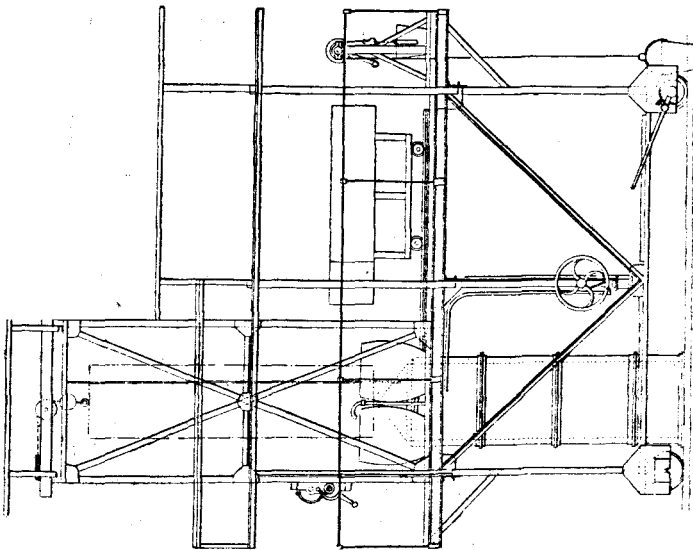
На ровной мѣстности располагается желѣзно дорожный путь шириною до 2-хъ м. для передвиженія особой вышки (фиг. 4, 5 и 6.) съ платформой, расположенной на высотѣ почти равной длинѣ трубъ, т. е. около 3-хъ метр. Вышка снабжена приспособленіями, необходимыми: 1) для передвиженія (фиг. 4 и 5), 2) для подъема

и опусканія металлическихъ формъ, 3) для подъема необходимыхъ матеріаловъ, и 4) твориломъ, бочками и пр. для приготовления быстро-схватывающагося раствора (фиг. 5 и 6).

Фиг. 5.



Фиг. 4.



Формы для отливки состоятъ изъ:

- 1) изъ разборчатаго наружнаго цилиндра (фиг. 8).
- 2) внутренняго раздвижнаго цилиндра (фиг. 7), снабженнаго

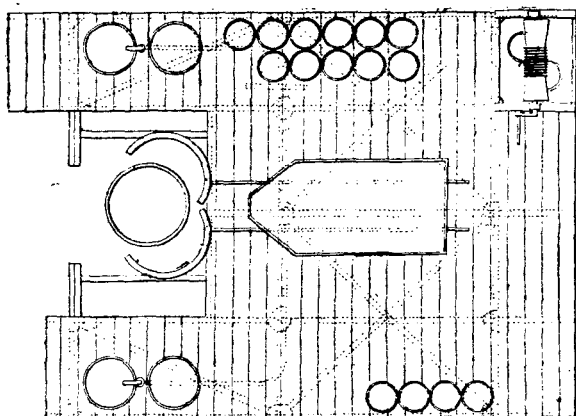
распорками, изменяющими его диаметр при вращении стержня, расположенного по оси формы, и

3) конического колпака, покрывающего внутренний цилиндр (фиг. 7) и служащего для равномерного распределения жидкого бетона, вытекающего из твора.

По оси пути въ каждой шпальтѣ имѣется отверстіе, облегчающее правильную сборку и установку формъ. Принимая его за центръ, располагаютъ кольцо изъ желѣза, ширина котораго равна толщинѣ отливаемой бетонной трубы; на кольцо устанавливаютъ остовъ, опускаютъ внутрь его раздвижной цилиндръ такъ, чтобы конецъ осевого стержня вышелъ въ отверстіе шпалы.

Вращая затѣмъ стержень, увеличиваютъ диаметръ раздвиж-

Фиг. 6.

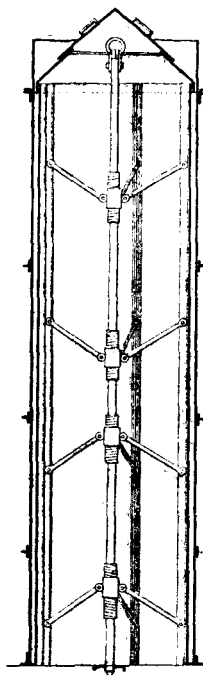


ного цилиндра настолько, чтобы его наружная поверхность у основанія плотно прилегала къ внутреннему ребру кольца, опредѣляющему внутренний диаметръ трубы. Вслѣдъ за этимъ устанавливаютъ наружную разборчатую форму такъ, чтобы она охватила съ внѣшней стороны то-же кольцо. Металлическій остовъ удерживается вверху въ надлежащемъ положеніи помощью деревянныхъ клиньевъ. Во время этой сборки формы готовятъ растворъ въ количествѣ необходимомъ для отливки одной трубы и затѣмъ выпускаютъ его изъ твора на коническій колпакъ. Жидкій растворъ изъ быстро-схватывающагося цемента заполняетъ промежутокъ между внутреннимъ и внѣшнимъ цилиндрами и плотно прилегаетъ къ металлическому остову. Деревянные клинья,

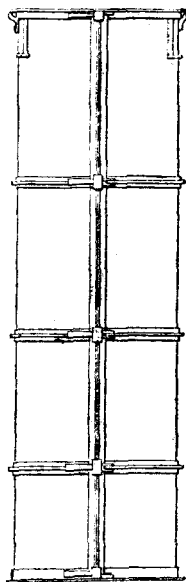
удерживавшіе остовъ, вынимаются, и бетонъ разравнивается до-
патками по обрѣзу трубы.

Вслѣдъ затѣмъ уменьшаютъ діаметръ внутренняго цилиндра,
вращая центральный стержень, поднимаютъ этотъ цилиндръ
(фиг. 4 и 5) поверхъ платформы и передвигаютъ вышку къ мѣсту
отливки слѣдующей трубы, гдѣ и производятъ описанную выше
сборку. Наружная форма снимается черезъ 15—20 минутъ.

Фиг. 7.



Фиг. 8.



По снятіи формы труба остается въ вертикальномъ поло-
женіи на мѣстѣ отливки въ теченіе 3-хъ дней, т. е. пока не прои-
зойдетъ полное схватываніе цемента, а затѣмъ, помощью подвиж-
ного 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): $3 \cdot 3 \cdot 12 = 108$
погон. метровъ при числѣ рабочихъ отъ 8 до 11 человекъ.

Для ускоренія производства можно уширить путь для пере-

движенія вышки настолько, чтобы отливать одновременно по двѣ трубы.

Желѣзо-бетонныя кольца для скрѣпленія стыковъ трубъ отливаются въ подобныхъ-же формахъ, какъ и трубы. Внутренній диаметръ кольца на 3—4 см. больше наружнаго диаметра трубъ ширина-же кольца отъ 20 до 25 см., въ зависимости отъ диаметра. 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 кг. быстро-схватывающагося цемента на 1 куб. метръ песку.

Для отвода сточныхъ водъ Паризжа на поля орошенія возлѣ Triel'я и Мегу проложено въ теченіе 1898 года до 25 километровъ стале-бетонныхъ трубъ подобной-же системы, съ тою только разницей, что двутавровое сѣченіе остова замѣнено сталью крестообразнаго сѣченія, размѣры и формы котораго приведены на фиг. 9.

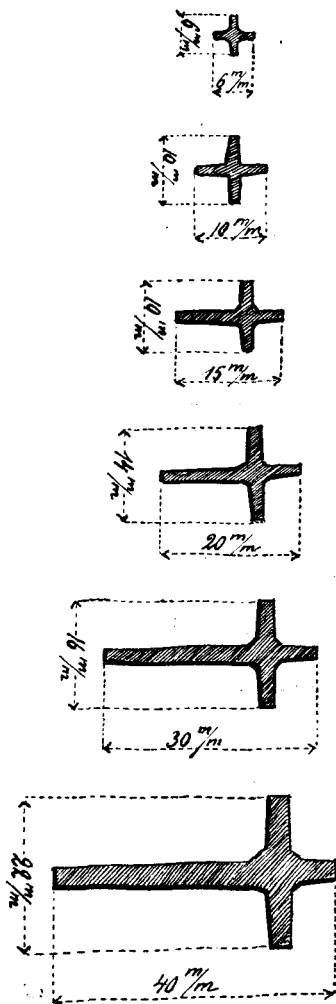
Но подобная профиль менѣе выгодна, чѣмъ двутавровая, такъ какъ:

1) при той-же площади поперечнаго сѣченія моментъ инерціи крестообразной формы меньше, чѣмъ двутавровой;

2) при деформаци остова вертикальныя ребра крестообразнаго сѣ-

ченія 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 па-



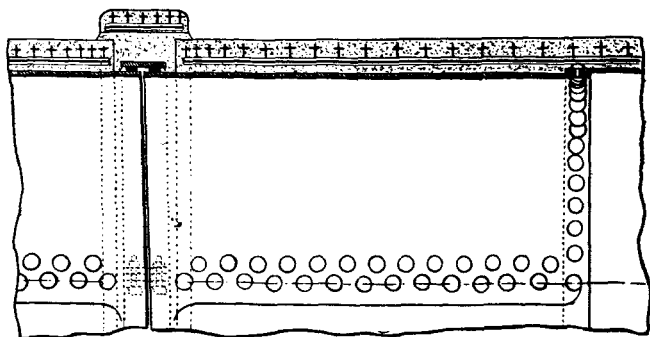
фиг. 9.

тента на новую систему стале-бетонныхъ трубъ. Всѣ устройства и приемы для приготовления этихъ трубъ ничѣмъ не отличаются отъ описанныхъ выше.

Трубы подобнаго устройства примѣнены для распредѣленія сточныхъ водъ Парижа по полямъ орошенія возлѣ Triel'я и Мегу при внутреннемъ давленіи до 13 м. и при внутреннемъ діаметрѣ 2 м.; 1,25 м.; 1,10 м.; 1,00 м.; 0,80 м.; 0,60 м. и 0,40 м. Въ случаѣ давленія большаго 13 м., для устраненія фильтраціи сточныхъ водъ черезъ бетонныя стѣнки, примѣнены тонкіе стальные листы, прилежающіе 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 со-

Фиг. 10.



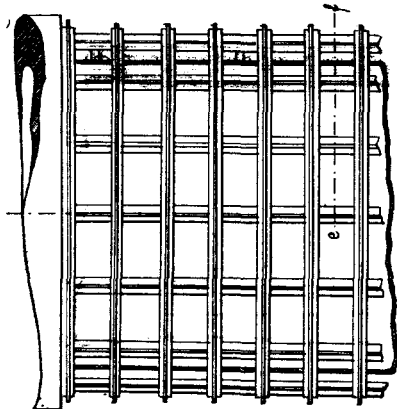
ставленъ изъ отдѣльныхъ колецъ указанной крестообразной профили, связанныхъ продольными прямыми полосами. Какъ примѣръ устройства подобныхъ трубъ, можно привести каналъ вблизи Argenteuil (Парижъ) длиною 1500 м., діаметромъ 1,80 м., составленный изъ отдѣльныхъ трубъ длиною 2,50 м. Часть этихъ трубъ, подверженныхъ давленію отъ 13,60 м., до 15,35 м., снабжена внутренней трубой изъ листовой стали толщиною 3,5 мм. (фиг. 10), а при давленіи большимъ 15,35 м.—подобной-же трубой толщиною 4,5 мм.

Металлическій остовъ составленъ изъ отдѣльныхъ стальныхъ колецъ крестообразной профили, размѣра 40—22—3 мм. (см. фиг. 11); разстояніе между кольцами при давленіи 17—22 м. равно 9 см., при давленіи 7 м.—равно 20 см.; разстояніе между продольными полосами равно разстоянію между кольцами.

Внутренняя стальная труба составлена изъ 4-хъ стальныхъ листовъ, соединенныхъ заклепками (фиг. 10).

Приготовленіе такихъ стале-бетонныхъ трубъ, въ общемъ, ничѣмъ не отличается отъ описанныхъ выше; въ данномъ случаѣ при отливкѣ роль внутренняго цилиндра формы исполняетъ *стальная труба*. Стыки этихъ трубъ устроены слѣдующимъ образомъ. Концы внутренней стальной трубы выступаютъ относительно бетонныхъ стѣнокъ на 6 см. (фиг. 10). Стыкъ стальныхъ трубъ покрывается каучуковымъ кольцомъ съ двумя ребрами, поверхъ котораго располагается другое кольцо, составленное изъ трехъ стальныхъ полосъ съ загнутыми концами, соединенныхъ болтами. Подвигивая гайки болтовъ, можно получить надлежащее сжатіе каучуковаго кольца.

Фиг. 11.



Вслѣдъ за тѣмъ на стыкъ надвигается стале-бетонное кольцо шириною 28 см. толщиною 8 см. (фиг. 10) такого-же устройства, какъ и стѣнки трубы, но внутренній діаметръ котораго на 3—4 см. больше внѣшняго діаметра трубы.

Удерживая это кольцо въ надлежащемъ положеніи, заливаютъ весь стыкъ жидкимъ растворомъ изъ быстро-схватывающагося цемента. Подобное устройство стыковъ оказалось на практикѣ очень прочнымъ и непроницаемымъ для воды.

Въ 1893 г. инженеръ Лаппау произвелъ испытаніе стале-бетонной трубы діаметромъ 0,50 м., составленной изъ стальной трубы толщиною 1 мм., помѣщенной внутри стале-бетонной, остова которой былъ сдѣланъ изъ полосы крестообразнаго сѣченія, изогнутой по винтовой линіи ¹⁾. Толщина стѣнокъ бетонной трубы 3,5 см; составъ 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 заклепокъ внутренней стальной трубы при давленіи 118 м. (11,8 атм.).

При давленіи 120 м. пришлось прекратить опытъ вслѣдствіе порчи одной изъ чугунныхъ крышекъ. Вслѣдъ за тѣмъ труба

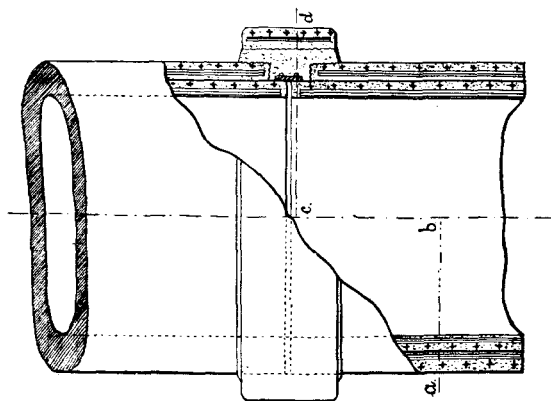
¹⁾ Le Génie Sanitaire № 1, 1896 г.

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 дѣйствительности сталь подвержена разрушительному дѣйствію 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. 12).

Трубы подобнаго устройства діаметромъ 1,10 м., 1,00 м.,

Фиг. 12.



0,80 м., 0,60 м. и 0,40 м. примѣнены для распредѣленія сточныхъ водъ Парижа по полямъ орошенія d'Achères при общей длинѣ сѣти 14 000 м. и при внутреннемъ давленіи до 40 м. (4 атм.).

Расположеніе стальныхъ листовъ въ бетонныхъ стѣнкахъ вполне обезпечиваетъ ихъ отъ ржавчины, вслѣдствіе чего можно съ большей увѣренностью разсчитывать не только на отсутствіе фильтраціи, но также и на сопротивленіе внѣшнимъ силамъ. Внутреннее давленіе распредѣляется ими равномерно между всѣми частями наружнаго остова; бетонъ, заполняющій 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

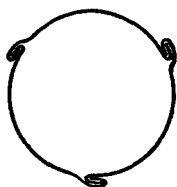
вслѣдствіе чего при значительныхъ деформацияхъ могутъ получиться отколы бетона.

Для увеличенія упругости подобной сплошной прокладки и уменьшенія ея вреднаго вліянія на стѣнки трубы, стальные листы соединены лежащими фальцами (фиг. 13 и 14).

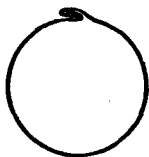
Отливка трубъ въ общемъ производилась подобно описанному выше.

Для устройства стыка стальные листы обнажены по концамъ каждой трубы на ширину 5 см.; особыя каучуковые прокладки, стянутыя наружными стальными кольцами (фиг. 12), прикрывали

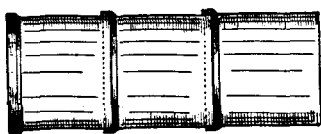
Фиг. 13.



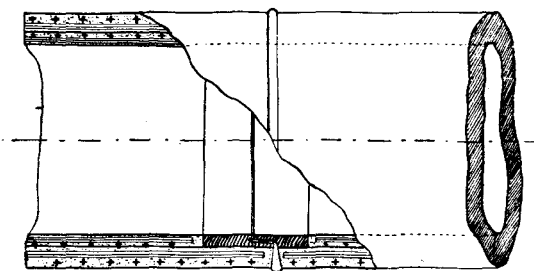
Фиг. 14.



Фиг. 15.



Фиг. 16.



стыкъ стальныхъ листовъ; поверхъ бетонныхъ трубъ располагались стале-бетонныя кольца, а затѣмъ производилась заливка стыка жидкимъ растворомъ изъ быстро-схватывающагося цемента. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ были устроены другого рода стыки, допускающіе измѣненіе длины и нѣкоторое вращеніе трубъ.

Для этого къ внутренней поверхности стальныхъ листовъ (фиг. 16) припаивались по концамъ трубы особыя чугунныя кольца, стыкавшіяся по конической поверхности съ нѣкоторымъ зазоромъ, заполненнымъ суриковой замазкой. Съ наружной стороны стыкъ бетонныхъ трубъ заполнялся цементнымъ растворомъ. Подобнаго

рода стыки примѣняются въ Англіи 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 раздѣляетъ 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 внѣшняго остова, составленнаго 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 мм. изогнутыхъ стальныхъ полосъ

R —прочное сопротивленіе стали растяженію,

H —внутреннее давленіе воды, выраженное въ метрахъ.

D —діаметръ трубы въ метрахъ.

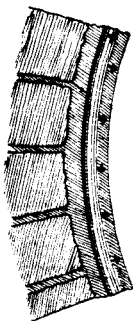
Въ дѣйствительности внутренній желѣзный остовъ и стальные листы принимаютъ также нѣкоторое участіе въ общемъ сопротивленіи трубы, поэтому при подобномъ расчетѣ получается значительный излишекъ желѣза, являющійся слѣдствіемъ той неопредѣленности въ распредѣленіи силъ, которую вводитъ примѣненіе внутреннихъ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

Въ этомъ отношеніи, для полученія полной непроницаемости желѣзо-бетонныхъ трубъ, выгоднѣе примѣнить тонкіе свинцовые листы, составляющіе внутреннюю обертку, сопротивляющуюся наилучшимъ образомъ химическому дѣйствію 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 избѣжать излишка желѣза при расчетѣ.

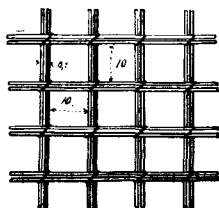
Какъ примѣръ примѣненія свинцовыхъ листовъ для полученія непроницаемыхъ для воды каналовъ, можно привести внутреннее устройство стѣнокъ канала около Frette, входящаго въ составъ канализаціонной сѣтки Парижа. Длина арочнаго aqueduc'a 93 м., діаметръ (внутренній) цилиндрическаго канала 3 м., толщина каменныхъ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

Внутренняя поверхность канала была покрыта тонким слоем штукатурки из цементного раствора (фиг. 17), поверх которой располагались свинцовые листы толщиной 0,8 мм., а затѣмъ сѣтки изъ тонкихъ желѣзныхъ полосъ крестообразнаго поперечнаго сѣченія (фиг. 17 и 18), связанныхъ проволочными перевязками. Слой цементного раствора толщиной 3 см. предохраняетъ желѣзо отъ разрушительнаго дѣйствія сточныхъ водъ, а свинцовые листы— отъ порчи при чисткѣ канала и проходѣ рабочихъ. Въ общемъ желѣзная сѣтка съ цементнымъ растворомъ образуютъ отдѣльную внутреннюю трубу, независимую отъ окружающей каменной кладки и обладающую большей упругостью. Вслѣдствіе этого всѣ неизбѣжныя измѣненія объема каменной кладки канала, вызываемыя осадкой или переменами температуры, не нарушаютъ полной непроницаемости канала. Надъ опорами арокъ пролетомъ 20 м.,

Фиг. 17.



Фиг. 18.



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 описанной желѣзо-бетонной сѣткой, примѣнена также въ aqueduc'ѣ d'Arcueil парижской сѣти.

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 мм.;

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

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

Длина трубъ 7,50 м. при внутреннемъ діаметрѣ 0,90 м. Отливка ихъ производилась подобно описанному выше, въ особыхъ траншеяхъ глубиною 5 м.

Соединеніе трубъ производилось помощью каучуковаго, стального и желѣзо-бетоннаго колецъ, согласно описанному для трубъ съ внутренней стальной оберткой.

Въ теченіе нѣсколькихъ первыхъ дней эксплуатаціи было замѣчено слабое просачиваніе воды въ нѣкоторыхъ трубахъ, что было вызвано плохой склепкой стальныхъ листовъ, но вслѣдъ затѣмъ просачиваніе прекратилось и водопроводъ остался вполне исправнымъ въ дальнѣйшей службѣ.

Изъ всего изложеннаго можно сдѣлать заключеніе, что стале-бетонныя трубы могутъ получить примѣненіе при устройствѣ канализации и водоснабженія городовъ. Сталь, подверженная непосредственному дѣйствію водъ, окисляется въ меньшей степени, чѣмъ желѣзо и чугунъ; широкое примѣненіе стальныхъ трубъ для газопровода (la C^{ie} 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 дѣйствію внѣшнихъ 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 употреблять мѣстный матеріалъ. Этими условіями опредѣляется значительная экономія при примѣненіи такихъ трубъ (15%—45%) сравнительно съ чугунными.

¹⁾ См. „Le Ciment“, 1898 г. № 6.

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

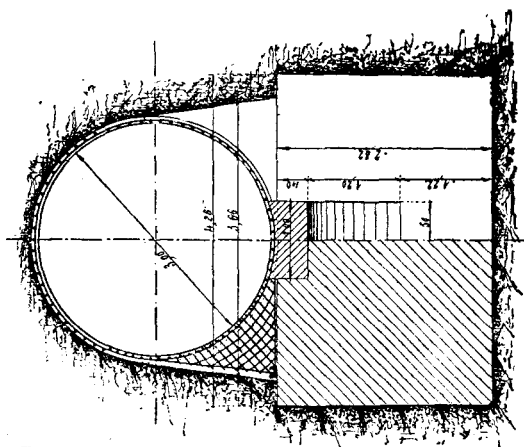
Данныя для трубъ, расположенныхъ на поляхъ орошения d'Achères.	Внутренній діаметръ трубъ въ метрахъ.				
	1,10	1,00	0,80	0,60	0,40
Длина	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Наружный діаметръ	1,24	1,13	0,92	0,71	0,49
Толщина стѣнокъ трубъ	0,070	0,065	0,060	0,055	0,048
Вѣсъ трубъ въ килограммахъ	2130	1695	1235	830	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 винтовой полосы остова	60	60	52	52	50
Вѣсъ 1 погон. метра полосъ крестообразной профили	0,585	0,685	0,410	0,410	0,210
Общій вѣсъ стали (килограм.).	299	255	180	111	56
<i>Кольца для стыковъ 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
Внѣшній діаметръ	1,42	1,30	1,08	0,86	0,61
Толщина кольца	0,065	0,06	0,055	0,05	0,04
Вѣсъ кольца (килограм.)	160	130	110	70	35
Вѣсъ металла	18	14,7	10,5	6	3
Стоимость полной укладки при глубинѣ рововъ отъ 1,34 до 2,24 м. (франковъ на 1 пог. метръ	90	70	42	33	19

Практика показала, что укладка стале-бетонныхъ трубъ длиною 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—быстрота устройства сѣти.

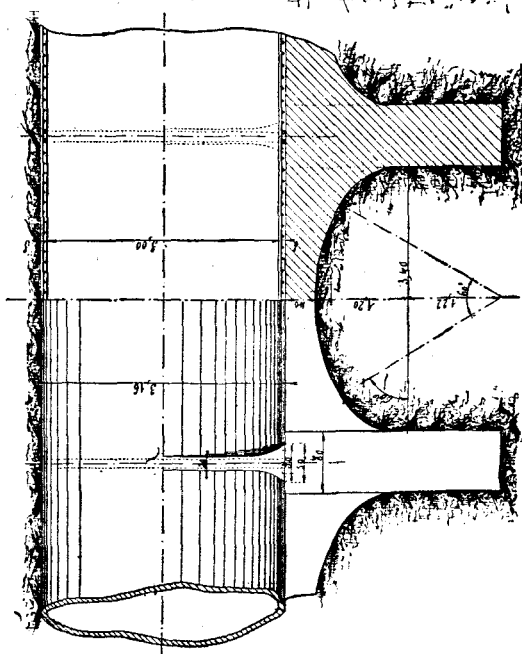
При внутреннемъ діаметрѣ каналовъ 2 м. и больше, выгоднѣе производить работу тѣмъ-же способомъ, какъ вообще при устройствѣ желѣзо-бетонныхъ сооружений, примѣняя обыкновенный медленно-схватывающійся цементъ.

Примѣромъ можетъ служить каналъ діаметромъ 3 м., длиною 2351 м., входящій въ составъ парижской канализаціонной сѣти вблизи Argenteuil'я (фиг. 19 и 20).

Фиг. 20.



Фиг. 19.



Бетонныя стѣнки толщиной 0,08 м. покрываютъ металлическій осто́въ изъ продольныхъ и поперечныхъ стальныхъ прутьевъ діаметромъ 0,008 м., расположенныхъ на разстояніи 0,11 м. При та-

комъ устройствѣ вѣсь 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, вслѣдствіе 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 сопротивление всѣмъ силамъ, дѣйствующимъ на стѣнки канала. Принимая во вниманіе сопротивление продольныхъ прутьевъ и бетона, получается въ дѣйствительности значительный запасъ прочности.

2) Часть канала длиною 561,40 м. поддерживалась бетоннымъ фундаментомъ, толщина и ширина котораго **измѣнялись** въ зависимости отъ свойствъ грунта. **Кромѣ того** черезъ каждые 3,20 м. были расположены особые желѣзо-бетонные контръ-форсы (фиг. 19 и 20); высота ихъ 1,5 м., толщина 0,20 м. Контръ-форсы эти упираются въ бетонные массивы 4,26 м. шириною и 0,80 м. толщиной; высота-же ихъ (глубина заложенія) **измѣняется** въ зависимости отъ свойствъ грунта. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ эти фундаменты поддерживаютъ эллиптическія бетонныя арки толщиной 0,40 м., служащія опорами для канала.

Металлическій остовъ контръ-форсовъ состоитъ изъ двухъ стальныхъ полосъ діаметромъ 16 мм., изогнутыхъ по внѣшнему очертанію канала и контръ-форса. Концы этихъ полосъ упираются въ куски желѣза желобчатый профили, вдѣланные въ бетонный массивъ основанія. Изогнутыя полосы контръ-форсовъ соединены съ соотвѣтствующими поперечными прутьями канала посредствомъ сѣтки изъ стальной проволоки діаметромъ 4 мм.

Бетонъ для контръ-форсовъ и стѣнокъ канала составленъ изъ 450 kg. медленно-схватывающагося цемента на 1 куб. метръ песку; внутренняя и наружная поверхности покрыты цементной штукатуркой толщиной 1 см.

Фундаменты, арки и контръ-форсы безъ металлическаго остова возведены изъ бетона, составленнаго изъ 3-хъ частей гравія и 2-хъ частей раствора, содержащаго 400 kg. цемента на 1 куб. метръ песку.

Для водоснабженія Парижа (Compagnie Générale des Eaux) **примѣнены** также желѣзо-бетонныя каналы діаметромъ 1,20 м., рассчитанные на внутреннее давленіе воды 4 м. и внѣшнее давленіе насыпи высотой 2 м.

Часть этихъ каналовъ длиною 160 м. устроена изъ желѣзо-бетонныхъ трубъ длиною 3 м., остовъ которыхъ состоитъ: 1) изъ 31 желѣзныхъ прутьевъ толщиною 0,004 м., образующихъ отдѣльныя направляющія кольца, 2) 40 продольныхъ прутьевъ діаметромъ 0,008 м.; прикрѣпленныхъ къ кольцамъ проволочными перевязками, и 3) проволоки толщиною 0,002 м., охватывающей снаружи продольные прутья и расположенной по винтовой линіи.

Остовъ окруженъ бетонными стѣнками трубы толщиною 0,07 м.; составъ бетона 600 kg. цемента на 1 куб. метръ песку. Стыки трубъ скрѣплены желѣзо-бетонными кольцами длиною 0,35 м., остовъ которыхъ состоитъ изъ 4 направляющихъ колець 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 діаметра (1,2 м.) длиною 250 м. устроена въ видѣ одного непрерывнаго канала слѣдующимъ образомъ.

Металлическій остовъ составленъ: 1) изъ желѣзныхъ прутьевъ толщиною 0,008, изогнутыхъ по винтовой линіи, и 2) прямыхъ продольныхъ прутьевъ, привязанныхъ къ каждому витку проволокой такъ, чтобы получились клѣтки размѣрами отъ 0,08 до 0,10 м.

Остовъ заготавливается частями длиною 4 м.; каждое такое звено опускалось на дно рва и, послѣ надлежащей укладки, продольные прутья его соединялись проволочными 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 длиною 250 м. представляетъ какъ-бы одну монолитную трубу безъ стыковъ. Стоимость 1 пог. метра канала 42 франка. Весь ходъ работы ничѣмъ не отличается отъ способа возведенія обыкновенныхъ желѣзо-бетонныхъ сооружений и не требуетъ механическихъ приспособленій, необходимыхъ для укладки трубъ того-же діаметра.

Изъ всего изложеннаго можно заключить, что желѣзо-бетонъ является матеріаломъ вполне подходящимъ для устройства канализаціонныхъ и водопроводныхъ трубъ. Приведенные примѣры могутъ служить данными для выбора той или другой системы.

III. Примѣры устройства желѣзо-бетонныхъ резервуаровъ значительной емкости.

Съ теоретической точки зрѣнія наивыгоднѣйшей формой для резервуаровъ является цилиндръ съ круговымъ основаніемъ, такъ какъ вертикальныя стѣнки его, подверженныя внутреннему давленію воды, работаютъ исключительно на растяженіе. Примѣняя въ данномъ случаѣ желѣзо-бетонъ, можно утилизировать полностью всю массу желѣза, подверженнаго растяженію и вполнѣ предохраненнаго бетономъ отъ ржавчины.

Простота и дешевизна устройства, возможность примѣнить имѣющее подъ рукой полосовое желѣзо и сравнительно ничтожные расходы на ремонтъ—составляютъ существенныя преимущества желѣзо-бетонныхъ резервуаровъ сравнительно съ желѣзными или каменными.

Наиболѣе интересными примѣрами подобныхъ резервуаровъ, отличающихся простотой устройства и значительной емкостью, являются желѣзо-бетонные резервуары, устроенные въ періодъ 1893—1897 гг. для водоснабженія Парижа (La compagnie générale des Eaux) емкостью отъ 200 до 4000 куб. метр.

Въ прилагаемой ниже таблицѣ указаны мѣста расположенія резервуаровъ, ихъ діаметръ, высота, емкость, стоимость и стоимость желѣзо-бетонныхъ работъ, отнесенная къ 1 куб. метру воды.

№	Мѣсто устройства.	Діаметръ въ метр.	Высота въ метрахъ.	Емкость въ куб. метр.	Стоимость въ фран.	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 этомъ №№ 1, 2, 3 и 4 представляютъ открытые резервуары, расположенные на мѣстномъ горизонтѣ;

резервуаръ № 5 также безъ покрытія, но врытый цѣликомъ въ землю;

резервуаръ № 6, закрытый, расположенъ на мѣстномъ горизонтѣ;

№№ 7 и 8 также покрыты желѣзо-бетоннымъ сводомъ, но врыты въ землю;

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

Во всѣхъ этихъ случаяхъ бетонныя стѣнки резервуаровъ заключаютъ металлическій остовъ, состоящій:

1) изъ горизонтальныхъ желѣзныхъ полосъ прямоугольнаго сѣченія, изогнутыхъ по дугѣ круга и расположенныхъ на взаимномъ разстояніи 0,25 м.; поперечное сѣченіе ихъ увеличивается по мѣрѣ приближенія ихъ къ дну резервуара пропорціонально гидростатическому давленію;

2) изъ вертикальныхъ связей желобчатой профили, расположенныхъ черезъ каждыя 3 м. и соединяющихъ всѣ горизонтальныя полосы,

и 3) изъ желѣзныхъ прутьевъ толщиною отъ 0,006 м. до 0,008 м., заполняющихъ промежутки между вертикальными и горизонтальными полосами и образующихъ квадратныя клѣтки, стороны которыхъ равны 8 см.

Металлическій остовъ окруженъ бетонной стѣнкой, толщина которой измѣняется по высотѣ въ зависимости отъ гидростатическаго давленія.

Для резервуаровъ емкостью 1000 куб. метр. при высотѣ ихъ 5,25 м. толщина стѣнокъ 0,08 м. вверху и 0,12 м. у дна, для резервуаровъ той же высоты емкостью 4000 куб. метр. толщина стѣнокъ равна 0,10 м. вверху и 0,18 м. внизу. Составъ бетона (раствора) 750 kg. цемента на 1 куб. метръ песку.

При расчетѣ стѣнокъ принято во вниманіе только сопротивленіе желѣза растяженію, вызываемому внутреннимъ давленіемъ воды; внѣшнее-же давленіе земли, равно какъ и сопротивленіе бетона не включены въ расчетъ.

Поперечное сѣченіе S горизонтальныхъ полосъ опредѣлялось по формулѣ

$$S = \frac{2}{3} \cdot \frac{1000 h l r}{R},$$

въ которой:

r —внутренній радіусъ резервуара въ метрахъ.

l —разстояніе между осями горизонтальныхъ полосъ, выраженное въ метрахъ.

R —прочное сопротивление желѣза растяженію, отнесенное на 1 кв. метръ.

$\frac{2}{3}$ —практическій коэффициентъ.

h —разстояніе отъ середины полосы до уровня воды.

Опредѣливъ по этой формулѣ поперечное сѣченіе полосы, остается подобрать наивыгоднѣйшее отношеніе между ея толщиной и шириной для удобнаго прикрѣпленія къ вертикальнымъ связямъ.

Желѣзный остовъ дна резервуаровъ составленъ изъ полосъ прямоугольнаго сѣченія, расположенныхъ по направленію радіусовъ и соединенныхъ: 1) въ центрѣ дна общей накладкой изъ листового желѣза, 2) по окружности стѣнокъ желобчатымъ желѣзомъ, къ которому прикрѣплены вертикальныя связи.

Промежутки между радіальными полосами заполнены сѣткой изъ желѣзныхъ прутьевъ толщиной 0,006 м., скрѣпленныхъ въ точкахъ пересѣченія проволочными перевязками.

Остовъ окруженъ бетономъ того-же состава, какъ для стѣнокъ; подъ этимъ дномъ устроено сплошное основаніе изъ болѣе тощаго бетона, толщина котораго измѣняется въ зависимости отъ свойства грунта.

Горизонтальныя полосы, образующія остовъ 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 устанавливають съ внѣшней стороны остова вертикальныя сплоченныя доски, образующія форму для наружной поверхности резервуара.

Рабочіе размѣщаются съ внутренней стороны остова и помощью лопатокъ возводятъ бетонныя стѣнки слоями 3—4 см. такъ, чтобы металлическій остовъ былъ вполне покрытъ бетономъ при требуемой толщинѣ стѣнокъ.

Работа начинается снизу и ведется горизонтальными слоями по всему обводу.

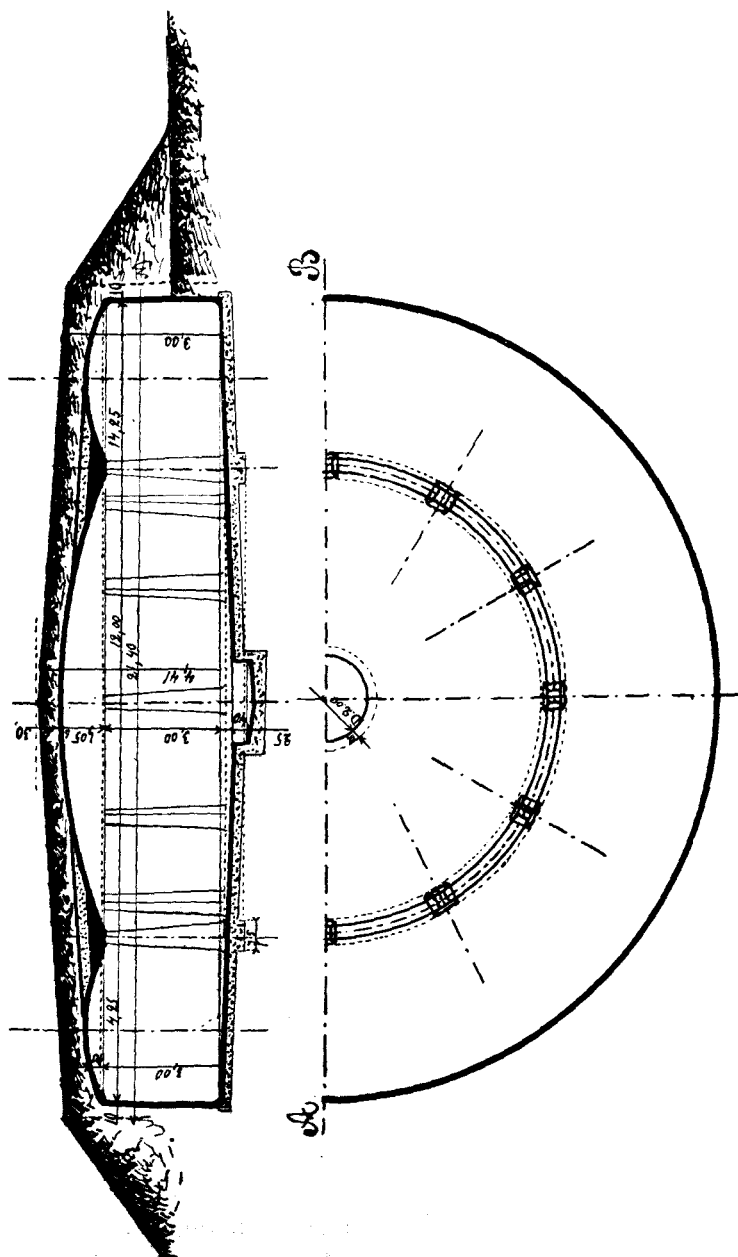
Когда стѣнки доведены до требуемой высоты и произошло схватываніе цемента, убирають наружную обшивку изъ досокъ и производять тщательно штукатурку внутренней поверхности стѣнокъ.

Покрытіе резервуаровъ емкостью 1000 куб. м. сдѣлано по типу, представленному на фиг. 21, 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.

Фиг. 21.



Въ резервуарахъ емкостью 4000 м.³ въ составъ покрытия входятъ средній купольный сводъ и двѣ конические скѣлки.

вые свода, поддерживаемые стѣнками резервуара и колоннами, расположенными по двумъ соответствующимъ окружностямъ.

Металлическій остовъ сводовъ во всѣхъ случаяхъ состоитъ изъ однотаврового желѣза, расположеннаго по направленію радіусовъ резервуара и играющаго роль направляющихъ реберъ; промежутки между ними заполнены сѣткой изъ желѣзныхъ прутьевъ толщиной 0,006 м., образующихъ клѣтки отъ 0,08 до 0,10 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 см. до 30 см.

Вершины ихъ связаны желѣзными балками, изогнутыми по соответствующей окружности и служащими опорами для сводовъ покрытія. 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, діаметра резервуаровъ, нагрузки земли.

Въ резервуарахъ емкостью 1000 м.³ пролетъ кольцевого свода 4 м., подъемъ 0,60 м.; пролетъ же купола—8 м. при стрѣлѣ подъемъ 1 м.

Въ резервуарахъ емкостью 4000 м.³ средній куполь тѣхъ же размѣровъ, пролеты двухъ кольцевыхъ сводовъ 6 м., подъемы ихъ 0,75 м. и 0,85 м.

Вполнѣ удачная эксплуатація 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 земляныхъ работъ и устройства оснований,—160 575 фр. при общей емкости 13 280 м.³, что составляетъ:

$$\frac{160\,575}{13\,280} = 12,09 \text{ фр. на } 1 \text{ м.}^3 \text{ вмѣстимости.}$$

Благодаря монолитности и легкости всего желѣзо-бетоннаго

резервуара, устройство его основанія обходится дешевле, чѣмъ соотвѣтствующаго бассейна каменнаго или бетоннаго.

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

4) Сравнительно ничтожные расходы на ремонтъ.

5) Простота и быстрота устройства.

Парижскіе желѣзо-бетонные резервуары емкостью 4000 м.³ являются наибольшими изъ всѣхъ существующихъ; вообще же въ теченіе 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 м.³.

Инженеръ-Капитанъ **Н. Житковичъ.**



ПЛОСКІЯ
ЖЕЛѢЗО-БЕТОННЫЯ ПОКРЫТІЯ
И
ИХЪ РАЗСЧЕТЪ.

Инженеръ-капитана Н. Житкевича.

Штатнаго преподавателя Николаевской Инженерной Академіи и Училища.

(Отдѣльный оттискъ изъ Инженернаго журнала №№ 1 и 2).

С -ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія и Литографія В. А. Тиханова, Садовая, № 27.

1899.

Дозволено цензурою, С.-Петербургъ, 8 апрѣля 1899 г.

ПЛОСКІЯ ЖЕЛѢЗО-БЕТОННЫЯ ПОКРЫТІЯ И ИХЪ РАЗСЧЕТЪ.

Въ настоящее время въ строительной практикѣ примѣняются различные типы плоскихъ покрытій для раздѣленія на этажи высокихъ зданій, фабрикъ, складовъ и проч. За границей даже въ обыкновенныхъ жилыхъ домахъ междуэтажныя покрытія дѣлаются въ видѣ несгораемыхъ плоскихъ потолковъ; при устройствѣ же фабрикъ, складовъ и другихъ промышленныхъ и общественныхъ сооружений примѣняется исключительно этотъ типъ покрытія.

Вмѣстѣ съ такимъ широкимъ распространеніемъ подобныхъ покрытій явилось много предложеній и патентованныхъ системъ по этому предмету, представляющихъ въ большинствѣ случаевъ лишь нѣкоторый интересъ съ теоретической точки зрѣнія, но мало примѣнимыхъ на практикѣ по сложности и дороговизнѣ устройства.

Употребляемая въ строительномъ дѣлѣ плоскія покрытія можно раздѣлить на слѣдующія три группы:

I. Желѣзо-деревянные плоскія покрытія, состоящія изъ желѣзныхъ продольныхъ балокъ и деревянныхъ брусевъ и досокъ, перекрывающихъ промежутки между ними. Покрытія этого типа представляютъ какъ-бы переходъ отъ обыкновенныхъ деревянныхъ половъ къ болѣе совершеннымъ плоскимъ покрытіямъ. Въ данномъ случаѣ деревянные половыя или потолочныя балки замѣнены болѣе прочными желѣзными балками; въ остальномъ же устройство ничѣмъ не отличается отъ общепринятыхъ междуэтажныхъ покрытій въ обыкновенныхъ жилыхъ домахъ.

II. Легкія желѣзныя, желѣзо-кирпичныя или желѣзо-бетонныя покрытія, въ которыхъ:

1) промежутки между продольными желѣзными балками перекрыты желѣзными же поперечными балочками, поддерживающими полъ; или

2) поперечныя балочки замѣнены волнистымъ или сводчатымъ желѣзомъ, служащимъ основаніемъ для пола, и

3) промежутки между продольными балками перекрыты пологими кирпичными или бетонными сводами.

Эти типы примѣняются какъ междуэтажныя покрытія въ жилыхъ домахъ, фабрикахъ, складахъ, общественныхъ зданіяхъ. Равномѣрно распределенная нагрузка для нихъ отъ 250 до 500 килогр. на 1 кв. метръ.

III. Тяжелыя желѣзо-бетонныя и желѣзо-кирпичныя покрытія, употребляемыя главнымъ образомъ въ желѣзныхъ мостахъ для заполнения промежутковъ между поперечными балками. По устройству они ничѣмъ не отличаются отъ соответствующихъ легкихъ покрытій и рассчитываются по наибольшимъ сосредоточеннымъ грузамъ, выражающимъ давленіе колесъ.

Описаніе всѣхъ покрытій, данныя для ихъ расчета и вѣса приведены въ «Musterbuch für Eisen-Constructionen, Scharowsky.

Цѣль предлагаемой статьи—представить описаніе и способы расчета нѣкоторыхъ наиболѣе употребительныхъ плоскихъ желѣзо-бетонныхъ покрытій, получившихъ въ настоящее время въ Западной Европѣ и въ Америкѣ обширное примѣненіе, и почти вытѣснившихъ всѣ прочіе типы междуэтажныхъ покрытій, благодаря своимъ существеннымъ преимуществамъ.

Главныя условія, опредѣляющія выгоды и степень примѣненія различныхъ типовъ плоскихъ покрытій, слѣдующія:

1) Проста и дешевизна устройства при наибольшихъ нагрузкахъ, допускаемыхъ на практикѣ;

2) огнеупорность;

3) неизмѣняемость отъ дѣйствія сырости и другихъ разрушительныхъ вліяній, опредѣляющая расходъ на ремонтъ;

4) высота покрытія, стѣсняющая возможно меньше внутреннее пространство помѣщеній;

5) звуко- и теплопроводность, и

6) степень удовлетворенія гигиеническимъ условіямъ, весьма важнымъ при устройствѣ покрытій въ жилыхъ домахъ.

Во всѣхъ этихъ отношеніяхъ желѣзо-бетонныя покрытія оказались выгоднѣе прочихъ типовъ, чѣмъ и объясняется быстрое развитіе и самое широкое примѣненіе ихъ въ теченіе послѣднихъ 20—10 лѣтъ. Начиная съ 1886 года, послѣ обширныхъ опытовъ, произведенныхъ въ Берлинѣ *), а затѣмъ и въ другихъ городахъ, надъ разными желѣзо-бетонными сооружениями, установился вполне опредѣленный взглядъ на желѣзо-бетонъ, какъ на матеріалъ наиболѣе выгодный для устройства покрытій, резервуаровъ, трубъ и проч. сооружений, отъ которыхъ, кромѣ дешевизны, требуются прочность при возможно большей легкости, неизмѣняемость, огнеупорность, гигиеничность.

Для зданій фабричныхъ и промышленныхъ, подверженныхъ значительнымъ нагрузкамъ, ударамъ и сотрясеніямъ при работѣ машинъ, желѣзо-бетонныя покрытія являются наивыгоднѣйшими благодаря своей монолитности, упругости, прочности и огнеупорности.

Всѣ перечисленные преимущества желѣзо-бетонныхъ системъ являются слѣдствіемъ удачнаго сочетанія этихъ двухъ матеріаловъ, благодаря чему можно воспользоваться полностью наивыгоднѣйшими строительными свойствами каждаго изъ нихъ, заставляя работать желѣзо почти исключительно на растяженіе, а бетонъ—на сжатіе.

Не вдаваясь въ подробное изслѣдованіе этого вопроса, достаточно разсмотрѣть одинъ изъ многочисленныхъ опытовъ, доказывающихъ, на сколько увеличивается прочность бетона при введеніи желѣза въ его массу.

Въ 1891 г. въ Петербургѣ **) были испытаны три пары

*) Wags, Das System Monier.

**) Протоколы по производству опытовъ надъ желѣзо-бетонными сооружениями системы Монье.

плить, пролетомъ 1,0, 1,5 и 2,0 метра; въ каждой парѣ одна плита была съ желѣзною сѣткой, а другая—безъ нея. Сѣтка состояла изъ продольныхъ желѣзныхъ прутьевъ, скрѣпленныхъ съ поперечными обвязкой изъ тонкой проволоки; толщина продольныхъ прутьевъ въ плитахъ 1-го опыта (пролетъ 1 метра)—6 милим.; 2-го и 3-го опыта (пролеты 1,5 и 2 метра)—7 милим.; каждый 3-й пруть толщиною 10 милим. Поперечные прутья толщиною 5 милим. Составъ бетона 1 : 3.

Разстояніе между прутьями продольными и поперечными одинаковое: отъ 6,5 до 7 сант. Сѣтка помѣщалась на разстояніи $\frac{1}{6}$ толщины плиты отъ нижней ея поверхности.

Размѣры плитъ съ сѣткой и безъ нея при одномъ и томъ же пролетѣ одинаковые, а именно:

Опыты.	Пролеты.	Ширина.	Толщина.	Площ. нагрузки.
1	1,0 м.	0,71 м.	4,05 сант.	0,71 кв. м.
2	1,5 »	1,0 »	7,0 »	1,5 »
3	2,0 »	1,0 »	9,7 »	2,0 »

Опытъ показалъ, что разрушающій грузъ для плитъ Монье больше такого же груза для обыкновенныхъ бетонныхъ плитъ тѣхъ же размѣровъ: въ 3,5, 3,1 и 4,3 раза при пролетахъ: 1 м., 1,5 м. и 2 м., что составляетъ въ среднемъ 3,6.

При этомъ въ плитахъ съ желѣзною сѣткой наблюдалось только раздробленіе бетона, который не распался и не отдѣлился отъ сѣтки; нагрузка повисла на ней, не вызывая полного обрушенія. Всѣ же плиты безъ сѣтки разрушились мгновенно съ распаденіемъ бетона на куски неправильной формы.

При другихъ опытахъ *) сводчатое бетонное покрытие, при пролетѣ $l = 4,5$ м. и толщинѣ въ замкѣ 5 сант., обрушилось при нагрузкѣ 800 кил. на кв. м., а такое же покрытие системы Монье—при нагрузкѣ—2.109 кил. на кв. м.

Не вдаваясь въ описаніе разныхъ опытовъ въ этомъ на-

*) Wayss: Das System Monier.

правленіи, можно сдѣлать заключеніе, что такая относительно значительная прочность покрытій системы Монье является слѣдствіемъ тѣсной связи цемента съ желѣзомъ, заставляющей оба матеріала сопротивляться разрушенію покрытія.

Въ этомъ отношеніи интересенъ слѣдующій опытъ *). Желѣзная проволока толщиною $d=7$ милим., пробывшая 12 лѣтъ въ бетонномъ массивѣ, оказала сопротивленіе выдергиванію изъ бетона равное 1.300 килогр.; при этомъ проволока оборвалась и была вытянута только часть ея, причемъ на ея поверхности не найдено и слѣдовъ ржавчины. Эта значительная связь между желѣзомъ и затвердѣвшимъ бетономъ можетъ явиться вслѣдствіе образованія особенно твердаго и прочнаго соединенія силикатовъ цемента съ желѣзомъ.

Если допустить, что подобной прочной связи между желѣзомъ и бетономъ не существуетъ, т. е. что каждый матеріалъ сопротивляется порознь, то, обращаясь къ приведеннымъ выше опытамъ надъ плитами, получимъ слѣдующій выводъ.

Бетонная плита безъ стѣнки, при пролетѣ 1 м., толщины 4,5 сант. и ширины 0,71 м., мгновенно обрушилась при нагрузкѣ 852 килогр.; такая же плита Монье при нагрузкѣ 2.887 килогр. дала только прогибъ въ 8 м. и обрушилась при нагрузкѣ 2.973 килогр.

Если предположить, что эта разница въ сопротивленіи произошла отъ того, что во второмъ случаѣ кромѣ сопротивленія, оказываемаго плитой безъ стѣнки, является самостоятельное сопротивленіе изгибу продольныхъ прутьевъ толщиною 6 мил., то при указанномъ прогибѣ $f=8$ м. нагрузка P , вызывающая этотъ прогибъ, опредѣлится на формулѣ

$$f = \frac{5 \cdot P \cdot l^3}{384 EI},$$

гдѣ l — пролетъ = 100 сант., E — коэффициентъ упругости желѣза = 2.000.000 кил.-сант., I — моментъ инерціи поперечнаго сѣченія одного прута = 0,0064 сант.⁴.

*) Wayss: Das System Monier.

Если работающих продольных прутьевъ 10, то подставляя эти данныя въ формулу, получимъ

$$0,8 = \frac{P \cdot 5 \cdot 100^3}{2000000 \cdot 0,064 \cdot 384}.$$

Отсюда $P = 8$ килогр.

Слѣдовательно, полная величина разрушающаго груза должна выразиться при сдѣланномъ предположеніи такъ:

$$pl = 852 + 8 = 860 \text{ килогр.}$$

Въ дѣйствительности же разрушій грузъ равнялся 2.973 кил., т. е. въ $\frac{2.973}{860} = 3,5$ раза больше.

Отсюда можно заключить, что сопротивленіе разрушенію плиты Монье не представляетъ суммы сопротивленій бетона и желѣза, разсматриваемыхъ въ отдѣльности; въ данномъ случаѣ, благодаря тѣсной связи между бетономъ и желѣзомъ, получается совершенно другое распредѣленіе внутреннихъ силъ.

Сравнительно малую прочность обыкновенной бетонной плиты можно объяснить тѣмъ обстоятельствомъ, что напряженія въ нижнихъ ея частицахъ достигаютъ величины временнаго сопротивленія бетона разрыву въ то время, когда напряженія въ верхнихъ частицахъ едва приблизятся къ предѣлу прочнаго сопротивленія раздробленію.

Если предположить, что у нижней поверхности плиты заложены желѣзные прутья, и при этомъ бетонъ не можетъ деформироваться независимо отъ прутьевъ, благодаря значительной связи его съ желѣзомъ, то желѣзные прутья должны получить удлиненіе, соотвѣтствующее деформации (растяженію) бетона. Полная работа внѣшнихъ силъ, превращавшаяся въ плитѣ безъ сѣтки въ работу деформации одного бетона, раздѣлится тогда на двѣ части: работу деформации желѣза и работу деформации бетона. Послѣ этого очевидно, что закладывая въ растянутой части плиты болѣе толстые желѣзные прутья, или увеличивая число ихъ, можно достигнуть того, что въ сжатой части напряженіе бетона дойдетъ до предѣла прочнаго сопро-

условіе равновѣсія для лѣвой половины пребуеиты тѣ, чтобы сумма проекцій всѣхъ внѣшнихъ силъ на горизонтальную ось равнялась нулю, т. е.

$$T_1 - T_2 = 0 \text{ или } T_1 = T_2 \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$\text{или } b \cdot \frac{R_1 h_1}{2} = \frac{b \cdot R_2 h_2}{2}, \text{ откуда}$$

$$R_1 h_1 = R_2 h_2.$$

Подставляя вмѣсто R_1 и R_2 равныя имъ величины изъ уравненія (2), получимъ

$$E_1 e_1 \cdot h_1 = E_2 e_2 h_2, \text{ или } \frac{e_1 h_1}{e_2 h_2} = \frac{E_2}{E_1}.$$

Принимая во вниманіе уравненіе (1), получимъ

$$\frac{h_1^2}{h_2^2} = \frac{E_2}{E_1}, \text{ или } \frac{h_1}{h_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Для затвердѣваго бетона состава 1 : 3 можно принять, что коэффициентъ упругости при сжатіи въ 10 разъ больше коэффициента упругости при растяженіи, т. е.

$$\sqrt{\frac{E_2}{E_1}} = \sqrt{\frac{1}{10}} = \frac{1}{3,16}.$$

Поэтому положеніе нейтральной оси въ данномъ случаѣ опредѣлится изъ уравненій:

$$\begin{cases} h_1 + h_2 = 4,5 \\ \frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{3,16} \end{cases}$$

Рѣшая ихъ, получимъ

$$h_1 + 3,16 h_1 = 4,5$$

$$h_1 = \frac{4,5}{4,16} = 1,08 \text{ сант.}$$

$$h_2 = 4,5 - 1,08 = 3,42 \text{ сант.}$$

Временное сопротивленіе бетона взятаго состава раздробленію, допустимъ, равно 300 кил. на кв. сант., а разрыву— 30 кил. на кв. сант.

Отложивъ $on = 3,42$ сант., фиг. 3, $nn_1 = R_2 = 30$ кил., получимъ, что наибольшая величина равнодѣйствующая T_2 всѣхъ растягивающихъ силъ въ сѣченіи mn равна

$$T_2 = \frac{b \cdot R_2 \cdot h_2}{2} = \frac{71 \times 30 \times 3,42}{2} = 3.642 \text{ килогр.}$$

Эта предѣльная величина T_2 при сдѣланныхъ предположеніяхъ явится въ моментъ разрушенія плиты; соотвѣтствующая ей равнодѣйствующая силъ сжимающихъ, на основаніи условія (4),

$$T_1 = T_2 = 3.642 \text{ килогр.}$$

Наибольшее напряженіе силъ сжимающихъ изъ уравненія (3)

$$R_1 = \frac{2 \cdot T_1}{h \cdot b} = \frac{2 \times 3642}{1,08 \times 71} = 95 \text{ кил. на кв. сант.} \quad (6)$$

что составляетъ $\frac{95}{300} = \frac{1}{3,2}$, или около $\frac{1}{3}$ временнаго сопротивленія раздробленію.

Отсюда ясно, что разрушеніе плиты вызывается сравнительно малымъ сопротивленіемъ бетона растяженію, и наиболѣе цѣнное свойство его—значительное сопротивленіе раздробленію—утилизируется только частью.

Увеличивая сопротивленіе растяженію введеніемъ желѣза, т. е. увеличивая силу $T_2 = T_1$, можно довести напряженіе R_1 силъ сжимающихъ до наивысшаго предѣла, что видно изъ уравненія (6):

$$R_1 = \frac{2T_1}{h \cdot b}, \text{ гдѣ величины } h \text{ и } b \text{ постоянныя.}$$

Равнодѣйствующія внутреннихъ силъ T_1 и T_2 пройдутъ черезъ центры тяжести треугольниковъ *отт*, и *опп*₁, фиг. 3. Сумма моментовъ силъ T_1 и T_2 относительно точки *о* нейтральнаго слоя составитъ моментъ сопротивленія даннаго сѣченія, равный моменту внѣшнихъ силъ M , который при равномерной нагрузкѣ выразится

$$M = \frac{pl \cdot l}{8} = \frac{2 \cdot T_1 \cdot h_1}{3} + \frac{2 \cdot T_2 \cdot h_2}{3} \text{ или,}$$

подставляя извѣстныя величины,

$$\frac{pl \times 100}{8} = \frac{2 \times 3642 \times 3,42}{8} + \frac{2 \times 3642 \times 1,08}{3} = 8.304 + \\ + 2.622 = 10.926 \text{ килогр.-сант.}$$

Отсюда разрушающій грузъ

$$pl = \frac{10926 \times 8}{100} = 874 \text{ килогр.}$$

Опытная же величина его—852 килогр.

Такимъ образомъ, изъ всего изложеннаго видно, что при сочетаніи бетона съ желѣзомъ является возможность вполне воспользоваться природными свойствами матеріаловъ, заставить бетонъ работать почти исключительно на сжатіе, а желѣзо—на растяженіе, и такимъ образомъ извлечь наибольшія выгоды изъ обоихъ матеріаловъ.

Слѣдствіемъ этого является прочность и сравнительно малый вѣсъ всѣхъ желѣзо-бетонныхъ сооружений, что весьма важно для междуэтажныхъ покрытій, подверженныхъ непосредственному дѣйствію значительныхъ нагрузокъ. Вмѣстѣ съ наименьшимъ, вполне раціональнымъ расходомъ матеріаловъ, уменьшается до минимума собственный вѣсъ покрытій, составляющій мертвую, бесполезную нагрузку для балокъ, колоннъ, стѣнъ, фундаментовъ. Поэтому примѣненіе плоскихъ желѣзо-бетонныхъ покрытій можетъ значительно уменьшить стоимость всего сооруженія.

Многочисленный опытъ показалъ, что желѣзо внутри бетонной кладки не подвержено никакимъ измѣненіямъ. Въ Амьенѣ желѣзо въ канализаціонныхъ трубахъ системы Монье оказалось при изслѣдованіи безъ малѣйшихъ слѣдовъ ржавчины.

Инженеръ Considère, занявшись изученіемъ этого вопроса, изслѣдовалъ 50 кусковъ желѣза, задѣланнаго въ кладку и пролежавшаго въ морѣ на разныхъ глубинахъ 5, 10, 15, 25 и даже 50 лѣтъ. Въ результатѣ 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 растворомъ была вполне прочная.

Опыты показываютъ, что при употребленіи желѣза, покрытаго ржавчиной, окружающій его цементъ входитъ въ химическое соединеніе съ окислами желѣза въ тотъ періодъ, тогда 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.

Въ настоящее время признано, что желѣзо въ цементномъ растворѣ теряетъ свой существенный недостатокъ — быстрое окисленіе въ прикосновеніи съ влажнымъ воздухомъ или въ водѣ, и въ этомъ отношеніи цементный растворъ является наиболѣе дѣйствительнымъ и прочнымъ предохраненіемъ отъ ржавчины.

Кромѣ того, коэффициенты упругости обоихъ матеріаловъ 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, окруженное бетономъ, можетъ оказать полное свое сопротивленіе, находясь въ наивыгоднѣйшихъ условіяхъ, т. е. будучи вполне обезпечено отъ ржавчины.

Поэтому при расчетѣ желѣзо-бетонныхъ сооружений можно ограничиться сравнительно меньшими запасами прочности, чѣмъ при обыкновенныхъ металлическихъ конструкціяхъ, тѣмъ болѣе что сопротивленіе самого бетона значительно увеличивается съ теченіемъ времени.

Другія весьма цѣнныя качества желѣзо-бетонныхъ системъ — упругость и монолитность — весьма важны для покрытій на фабрикахъ и въ другихъ зданіяхъ, подверженныхъ значительнымъ сотрясеніямъ и нагрузкамъ. Кромѣ того при незначительной высотѣ получается наименьшее стѣсненіе внутренняго пространства, и вмѣстѣ съ тѣмъ вся тонкая масса бетона сравнительно скоро и равномерно твердѣетъ, вслѣдствіе чего покрытія могутъ скорѣе эксплуатироваться.

Преимущества желѣзо-бетонныхъ покрытій въ пожарномъ отношеніи видны изъ слѣдующаго опыта, произведеннаго въ 1886 г. близъ Кельна *).

*) Wayss: Das System Monier.

Испытывались пологіе своды пролетомъ 4,28 метра съ подъемомъ 0,28 метра.

Одинъ сводъ, фиг. 4, состоялъ изъ волнистаго желѣза толщиною 1 миллим. при ширинѣ волны 90 миллим. и высотѣ ея 50 миллим.; поверхъ желѣза располагался слой бетона толщиною 5 сант., затѣмъ слой каменноугольной золы толщиною у опоръ 10 сант., и наконецъ слой бетона около 10 сант., образующій полъ.

Другой сводъ системы Монье, при толщинѣ бетона въ замкѣ 4,5 сант., и у опоръ 6 сант., заключалъ желѣзную сѣтку изъ 8 продольныхъ прутьевъ толщиною 7 сант. и 7 прутьевъ толщиною 8 миллим. въ 1 пог. метрѣ свода; поперечныя прутья толщиною 5 миллим. располагались въ взаимномъ разстояніи 10 сант. Общій видъ свода представленъ въ фиг. 5.

Своды были нагружены равномерно распределенною нагрузкой 410 кил. на кв. сант. и подвергались дѣйствию сильнаго огня. Въ сводѣ Монье, въ мѣстахъ подверженныхъ непосредственному дѣйствию пламени, наблюдалось отскакиваніе раствора, прикрывавшаго желѣзную сѣтку, что могло быть вызвано быстрымъ обращеніемъ въ пары той воды, которая находилась въ бетонѣ. Въ другомъ же сводѣ въ тѣхъ же мѣстахъ получалось полное отдѣленіе волнистаго желѣза отъ свода, и по прошествіи 20 минутъ вся средняя часть раскаленнаго до-красна желѣза опустилась, увлекая за собой часть кладки. Черезъ 15 минутъ получилось полное отдѣленіе и прогибъ всего волнистаго желѣза, а вслѣдъ за этимъ—обрушеніе свода.

Сводъ же Монье подвергался дѣйствию еще болѣе сильнаго огня, и спустя $\frac{1}{4}$ часа послѣ обрушенія свода съ волнистымъ желѣзомъ обильно поливался водою изъ пожарныхъ трубъ. По прекращенія опыта никакихъ новыхъ поврежденій не найдено. Такимъ образомъ, желѣзо-бетонныя покрытія заслуживаютъ вполне названія нескораемыхъ, тогда какъ всѣ другія покрытія, не заключающія горючихъ матеріаловъ, какъ на примѣръ пологіе кирпичныя сводики на желѣзныхъ балкахъ, или покрытія съ волнистымъ желѣзомъ,

разрушаются, такъ какъ желѣзо, подверженное непосредственному дѣйствию огня, сильно раскаляется, коробится, размягчается, что влечетъ за собой обрушеніе покрытія.

Въ гигиеническомъ отношеніи желѣзо-бетонныя покрытія выгоднѣе покрытій изъ легкаго пористаго или пустотѣлаго кирпича и другихъ покрытій проницаемыхъ для воздуха и воды. Точно также желѣзо-бетонныя покрытія не требуютъ смазки или заполнения изъ разныхъ пористыхъ матеріаловъ, способствующихъ скопленію подъ поломъ грязи и развитію паразитовъ. Для устройства разныхъ половъ желѣзо-бетонныя покрытія представляютъ готовое прочное основаніе.

Всѣ указанныя преимущества желѣзо-бетонныхъ покрытій объясняютъ, какъ уже замѣчено и выше, необыкновенно быстрое и широкое примѣненіе ихъ въ строительной практикѣ. Въ Германіи одно общество: «Actien-Gesellschaft für Monier-Bauten въ теченіе 10-ти лѣтней дѣятельности устроило плоскихъ покрытій, мостовъ и другихъ желѣзо-бетонныхъ сооружений на 50.000.000 марокъ, при общей площади всѣхъ покрытій около 8.000.000 кв. метр.

Ниже приведены нѣкоторые наиболѣе простые типы желѣзо-бетонныхъ покрытій и ихъ расчетъ.

1. Простѣйшій типъ, представленный въ фиг. 6, состоитъ изъ двутавровыхъ балокъ, промежутки между которыми перекрываются плитами Монье.

Разстояніе между осями балокъ отъ 0,7 до 2,8 метр.; толщина плитъ, въ зависимости отъ нагрузки и разстояніи между балками, отъ 4 до 14 сант. Въ разстояніи $\frac{1}{6}$ толщины плиты отъ внутренней поверхности располагается сѣтка изъ продольныхъ желѣзныхъ прутьевъ толщиной отъ 5 до 10 мил. и поперечныхъ діаметромъ отъ 5 до 7 мил. Въ точкахъ пересѣченія прутья скрѣпляются тонкою проволокой. Поперечное сѣченіе продольныхъ прутьевъ и разстояніе между ними опредѣляются приведеннымъ ниже расчетомъ.

Плиты укладываются на нижнія полки балокъ. Для лучшаго предохраненія желѣзныхъ балокъ отъ дѣйствія ржавчины и огня, ребра балокъ прикрываются цементнымъ ра-

створомъ (а), фиг. 6, а нижняя поверхность тавра покрывается штукатуркой. При значительной ширинѣ тавра цементный наметъ дѣлается по тонкой желѣзной сѣткѣ, охватывающей нижній поясъ балки.

Для уменьшенія звуко-и теплопроводности промежутки между балками заполняются каменноугольною золой или другимъ легкимъ пористымъ матеріаломъ, а затѣмъ устраивается полъ.

Выгоды такого покрытія слѣдующія:

1) Простота и быстрота устройства.

Плиты готовятся заранее; укладка ихъ не требуетъ такого искусства и надзора какъ при устройствѣ другихъ покрытій.

Покрытіе изъ готовыхъ плитъ Монье можетъ тотчасъ же подвергаться дѣйствию нагрузки, такъ что нѣтъ потери времени, необходимаго для тверднѣнія бетона или раствора въ другихъ покрытіяхъ.

2) При правильномъ устройствѣ—полная огнеупорность и неизмѣняемость отъ дѣйствія времени, сырости и пр.

3) Возможность получить желаемую степень звуко- и теплопроводности, измѣняя матеріалъ и толщину пористой смазки.

4) Непроницаемость для воздуха и воды при указанномъ заполненіи бетономъ (а), фиг. 6 и 11, стыковъ плитъ съ балками.

5) Кромѣ всего этого, незначительная высота покрытія и сравнительно большая прочность допускаютъ дѣйствіе значительныхъ сосредоточенныхъ грузовъ и ударовъ.

Вслѣдствіе значительной прочности при маломъ вѣсѣ, этотъ типъ примѣняется для перекрытія промежутковъ между поперечными балками въ желѣзныхъ мостахъ. Примѣромъ можетъ служить мостъ въ Halensee (Берлинъ), фиг. 14. Мостъ системы Шведлера пролетомъ 80 м. По бокамъ главныхъ фермъ устроены на консоляхъ панели для пѣшеходовъ, шириною 5 м. На консоляхъ уложены продольныя двуторовыя балки № 20 въ разстояніи 1,6 м.; промежутки между ними перекрыты плитами Монье толщиной 6,5 сант., допу-

скающими полезную равномерно распределенную нагрузку 400 кил. на кв. м. Собственный вѣсъ плитъ — 133 кил. на кв. м.

При отсутствіи готовыхъ плитъ требуемыхъ размѣромъ то же покрытие устраивается слѣдующимъ образомъ.

Къ желѣзнымъ балкамъ съ помощью скобъ подвѣшивается на требуемой высотѣ палуба изъ досокъ; на нее укладываются продольные и поперечные прутья такъ, чтобы концы продольныхъ прутьевъ лежали на полкахъ балокъ; когда подобная сѣтка готова, приступаютъ къ укладкѣ и трамбованію бетона до требуемой толщины покрытия. По прошествіи 8—14 дней, т. е. когда произойдетъ схватываніе бетона, убираютъ палубу. При всей простотѣ подобнаго устройства, получается бѣлая монолитность покрытия сравнительно съ примѣненіемъ отдѣльныхъ готовыхъ плитъ.

Въ складахъ, фабрикахъ и пр. зданіяхъ, для которыхъ звуко-и теплопроводность не имѣетъ особаго значенія, устраивается покрытие изъ плитъ Монье, уложенныхъ на верхніе пояса балокъ, фиг. 7. Разстояніе между осями балокъ до 2—2,5 м. Ребра ихъ покрываются цементнымъ растворомъ. Такое устройство невыгодно въ томъ отношеніи, что при прогибѣ плитъ стыки раскрываются, вслѣдствіе чего вдоль балокъ получаютъ трещины.

Очень практичнымъ оказалось слѣдующее покрытие, фиг. 13. Плиты касаются нижнихъ поверхностей верхнихъ полокъ двутавровыхъ балокъ и лежатъ на бетонныхъ заполненіяхъ (а), предохраняющихъ балки отъ ржавчины. Верхняя поверхность плитъ лежитъ въ одной плоскости съ верхними полками балокъ и служитъ основаніемъ для пола. Трещины вдоль балокъ при такомъ устройствѣ не получаютъ. Для уменьшенія тепло-и звукопроводности, на нижнія полки балокъ укладываются поперечные бруски, къ которымъ прикрѣпляется потолочная обшивка.

Деталь стыка плиты Монье съ балкой приведена въ фиг. 11 и 12.

Общія основанія для расчета плоских желѣзо-бетонныхъ покрытій.

Значеніе желѣза въ плитахъ Монье было выяснено выше, при описаніи сравнительныхъ опытовъ надъ обыкновенными бетонными плитами и плитами съ желѣзною сѣткой. Главною причиною, вызывающей значительную прочность желѣзо-бетонныхъ плитъ и сводовъ, слѣдуетъ признать ту связь, которая, какъ сказано выше, является между желѣзомъ и бетономъ; она не допускаетъ взаимнаго перемѣщенія этихъ матеріаловъ.

Поэтому понятно, что вся теорія желѣзо-бетонныхъ сооружений и способы расчета должны быть основаны на допущеніи этой силы сдѣпленія, связывающей оба матеріала въ одно нераздѣльное.

Не вдаваясь въ теоретическое ислѣдованіе этого вопроса, можно указать тѣ главныя положенія и допущенія, на основаніи которыхъ получаютъ простые, практическіе способы расчета желѣзо-бетонныхъ плоскихъ покрытій.

Многочисленные опыты надъ желѣзо-бетонными плоскими покрытіями и сводами значительныхъ пролетовъ (до 25 м.) *) показали, что при тѣхъ нагрузкахъ и напряженіяхъ матеріаловъ, которыя допускаются на практикѣ, деформаци пропорціональны нагрузкамъ, и въ этихъ предѣлахъ желѣзо-бетонъ можно разсматривать какъ одно упругое тѣло.

Поэтому при расчетѣ прямыхъ частей сооружений слѣдуетъ примѣнять теорію прямыхъ изгибаемыхъ брусевъ; при расчетѣ же сводовъ—теорію упругаго криваго бруса.

Обращаясь къ свойствамъ матеріаловъ, входящихъ въ составъ желѣзо-бетонныхъ покрытій, надобно замѣтить слѣдующее.

Въ данномъ случаѣ масса покрытія неоднородна, состоитъ изъ двухъ матеріаловъ, совершенно различныхъ по своимъ механическимъ свойствамъ, но связанныхъ въ одно цѣлое указанною силой сдѣпленія между бетономъ и желѣзомъ.

При изгибѣ плиты Монье, свободно лежащей на опорахъ,

*) BerichtbeGewö des -Ausschlusses. Zeit. d. Oest. Ing.-Ar.-Vereins. 1896r.

въ верхнихъ частицахъ бетона любого поперечнаго сѣченія появятся внутреннія сжимающія силы, въ нижнихъ же частицахъ бетона и въ желѣзѣ—силы растягивающія.

Опытъ показываетъ, что коэффициенты упругости бетона при растяженіи и сжатіи не равны между собой и также отличаются отъ коэффициента упругости желѣза. Поэтому, въ сущности, плита Монье состоитъ какъ-бы изъ трехъ разнородныхъ матеріаловъ, связанныхъ въ одно цѣлое. Отсюда понятно, что для точнаго теоретическаго расчета необходимо прежде всего знать величины этихъ трехъ коэффициентовъ упругости. Для литаго желѣза величина коэффициента упругости E при растяженіи принимается около

$$E = 2.000.000 \text{ килогр. на кв. сант.}$$

Коэффициенты же упругости для бетона при сжатіи, и въ особенности при растяженіи, измѣняются въ очень широкихъ предѣлахъ, и зависятъ въ каждомъ данномъ случаѣ отъ его состава, свойствъ цемента и другихъ составныхъ частей, времени твердѣнія и массы другихъ условий. До сихъ поръ нѣтъ опредѣленныхъ данныхъ относительно коэффициента упругости бетона при растяженіи.

Поэтому самые точные теоретическіе выводы для расчета желѣзо-бетонныхъ сооружений оказались бы непримѣнными на практикѣ.

Если при этомъ принять во вниманіе значительный запасъ прочности, придаваемый всѣмъ сооружениямъ, то можно заключить, что для практическихъ расчетовъ возможно принять нѣкоторые допущенія, упрощающія рѣшеніе вопроса при незначительномъ увеличеніи теоретическаго запаса прочности. Такъ, если предположить, что бетонъ покрытія сопротивляется исключительно сжатію, а желѣзо—растяженію, т. е. если пренебречь сравнительно малымъ сопротивленіемъ бетона растяженію, желѣзо-бетонную плиту можно разсматривать какъ-бы состоящей изъ двухъ разнородныхъ матеріаловъ, и слѣдовательно необходимо знать величины только двухъ коэффициентовъ упругости: для бетона—при сжатіи и для желѣза—при растяженіи.

При этомъ, понятно, долженъ получиться нѣкоторый за-

пасъ прочности, такъ какъ въ дѣйствительности бетонъ окажется незначительное сопротивленіе растяженію.

Послѣ этихъ общихъ замѣчаній можно перейти къ расчету плитъ Монье.

Допустимъ, что толщина плиты— d , ширина— b , пролетъ— l и полная равномерно распределенная нагрузка, включая собственный вѣсъ плиты,— p кил. на кв. м. Желѣзная сѣтка расположена въ разстояніи $\frac{1}{6}$ толщины d отъ внутренней поверхности.

Требуется опредѣлить:

1) толщину плиты, принимая наибольшее допускаемое напряжение для бетона (состава 1 : 3) при сжатіи $R_1 = 30$ кил. на кв. сант. (Berliner Polizei-Resideriums), и

2) поперечное сѣченіе и разстояніе между желѣзными прутьями.

1) Допустимъ, фиг. 8, что среднее сѣченіе m при данной нагрузкѣ выразится плоскимъ же сѣченіемъ $m_1 n_1$, фиг. 9. Выше, при сравненіи опытовъ надъ плитами, было пояснено, что измѣняя число или размѣры продольныхъ прутьевъ, можно заставить бетонъ принять большее или меньшее участіе въ сопротивленіи и, такимъ образомъ, измѣнять положеніе нейтральной оси. Допустимъ, что при указанномъ расположеніи прутьевъ въ разстояніи $\frac{d}{6}$ отъ внутренней поверхности плиты размѣры и число прутьевъ подобраны такъ, что нейтральная ось проходитъ чрезъ центръ рассматриваемаго сѣченія, фиг. 10.

Если принять, что напряжения внутреннихъ силъ въ бетонѣ и желѣзѣ пропорціональны разстояніямъ до нейтральной оси, то равнодѣйствующая T_1 всѣхъ сжимающихъ силъ въ верхнихъ частицахъ бетона выразится при ширинѣ плиты $b = 100$ сантим. чрезъ

$$T_1 = \frac{100 \cdot d \cdot R_1}{2 \cdot 2} = \frac{100 \cdot 30 \cdot d}{4} = 750 d.$$

Равнодѣйствующая эта пройдетъ чрезъ центръ тяжести треугольника omm_1 , т. е. въ разстояніи $ok_1 = \frac{2 \cdot d}{2 \cdot 3} = \frac{d}{3}$ отъ нейтральной оси.

Для статическаго равновѣсія выдѣленной лѣвой половины плиты необходимо, чтобы равнодѣйствующая T_2 растягивающихъ силъ для всѣхъ прутьевъ равнялась T_1 . Разстоянiе отъ точки приложенiя T_2 до нейтральной оси будетъ

$$ok_2 = \frac{d}{2} - \frac{d}{6} = \frac{d}{3}.$$

Такимъ образомъ, всѣ внутреннiя продольныя силы при изгибѣ плиты приводятся къ парѣ силъ, моментъ которой выразится такъ:

$$T_1 \cdot k_1 k_2 = \frac{2 \cdot 750 \cdot d \cdot d}{3} = 500 d^2 \text{ килогр.-сантим.}$$

Для равновѣсія необходимо, чтобы этотъ моментъ сопротивленiя равнялся моменту внѣшнихъ силъ, т. е. при ширинѣ плиты $b = 100$ сантим.

$$500 d^2 = \frac{p \cdot l^2}{8 \cdot 100}; \text{ отсюда}$$

искомая толщина плиты

$$d = \sqrt{\frac{p \cdot l^2}{8 \cdot 500 \cdot 100}} = \frac{l}{632} \sqrt{p} \text{ (сант.)}.$$

Выражая l въ метрахъ, получимъ $d = \frac{l}{6,32} \sqrt{p}$ сантим., или проще— $d = \frac{l}{7} \sqrt{p}$ сантим. (1).

2) Если обозначимъ общую площадь поперечныхъ сѣченiй всѣхъ продольныхъ прутьевъ при ширинѣ плиты $b=100$ сантим. чрезъ F кв. сант. и допускаемое среднее напряженiе для желѣза чрезъ $R_2 = 750$ кил. на кв. сант., то изъ предъидущаго равенства $T_1 = T_2$ получимъ $750d = 750 \cdot F$, или $d = F$, т. е. при сдѣланныхъ выше предположенiяхъ поперечное сѣченiе всѣхъ продольныхъ прутьевъ заключаетъ столько квадратныхъ сантиметровъ, сколько толщина плиты—линейныхъ сантиметровъ.

Задавшись послѣ этого извѣстнымъ числомъ или разстоянiемъ между прутьями при ширинѣ $b = 100$ сантим., получимъ поперечное сѣченiе одного продольнаго прута.

Опредѣленiе положенiя нейтральной оси при произвольномъ расположенiи желѣза будетъ показано при расчетѣ другихъ желѣзо-бетонныхъ покрытiй.

На основаніи приведенныхъ формулъ (1) и (2) легко составить таблицы для опредѣленія толщины плитъ, размѣровъ и числа желѣзныхъ продольныхъ прутьевъ при разныхъ пролетахъ и нагрузкахъ.

Напримѣръ, наименьшая толщина плиты d для тротуара моста въ Halensee (см. выше), при пролетѣ $l = 1,6$ метра, фиг. 14, и нагрузкѣ

$$p = 400 + 133 = 533 \text{ кил. на кв. м.}$$

опредѣлится по формулѣ (1):

$$d = \frac{l}{7} \sqrt{p} = \sqrt{533} = 5,2 \text{ сант.}$$

Принимая во вниманіе истираніе плиты, толщину ея можно принять около 6,5 сант.

Общая площадь F поперечнаго сѣченія всѣхъ продольныхъ прутьевъ на основаніи ур. (2):

$$F = d = 5,2 \text{ кв. сант.}$$

Если взять прутья толщиной $\delta = 0,7$ сант. при поперечномъ сѣченіи $f = \frac{\pi \cdot \delta^2}{4} = 0,38$ кв. сант., то число прутьевъ при ширинѣ плиты $b = 100$ сант.

$$\text{будетъ } n = \frac{5,2}{0,38} = 14 \text{ шт., а}$$

разстояніе между ними

$$e = \frac{100}{13} = 7,7 \text{ сант. (8 сант.).}$$

Плоское желѣзо-бетонное покрытие системы инженера Кюепен'а.

Въ началѣ 1897 г. инженеръ Кюепен предложилъ особый типъ желѣзо-бетоннаго плоскаго покрытія, отличающійся выгоднымъ распредѣленіемъ матеріаловъ, вслѣдствіе чего являются необыкновенная прочность, простота и дешевизна устройства.

Въ январѣ того же года особая коммисія произвела ис-

пытанія предложеннаго покрытія, результаты которыхъ приведены ниже и оказались на столько благоприятными, что въ теченіе полугода устроено было 104.000 кв. метр. разныхъ покрытій по системѣ инженера Коспенга.

Сущность ихъ устройства заключается въ слѣдующемъ.

Для полученія междуэтажныхъ плоскихъ покрытій, фиг. 16 и 17, значительной ширины (большей 5 метр. укладываются двутавровыя желѣзныя балки *d* въ разстояніи отъ 1,5—6 метр. На верхнихъ полкахъ балокъ, въ перпендикулярномъ направленіи, фиг. 16, располагаются желѣзные прутья *a* толщиною 5—13—29 милим., на взаимномъ разстояніи 6—10 сант. Прутьямъ придается по срединѣ нѣкоторый прогибъ $\frac{9}{10}$ толщины покрытія; концы ихъ загнуты и захватываютъ верхнія полки смежныхъ балокъ, фиг. 15. Промежутки между балками заполняются плотно утрамбованнымъ бетономъ, фиг. 15 и 17, образующимъ покрытіе въ видѣ зеркальнаго свода толщиною 8—10—25 сант. Вообще всѣ эти размѣры зависятъ отъ величины пролета и нагрузки.

При ширинѣ помещенія меньшей 6 метр., фиг. 17, можно обойтись безъ двутавровыхъ балокъ и воспользоваться промежуточными стѣнами. Для закрѣпленія концовъ желѣзныхъ прутьевъ *a* располагаются вдоль стѣнъ желѣзныя полосы *e*, поддерживаемыя анкерами *g* и *f*, задѣланными въ кладку *b*. Такимъ образомъ количество желѣза значительно уменьшается и является возможность примѣнить это покрытіе при самыхъ разнообразныхъ условіяхъ.

Для выясненія преимуществъ указаннаго расположенія матеріаловъ, замѣтимъ, что условія, въ которыхъ находится бетонная плита *ad*, фиг. 15, подходятъ ближе всего къ условіямъ балки съ закрѣпленными концами, фиг. 18, и подверженной дѣйствію того же груза. Въ такой балкѣ, какъ извѣстно, при равномерной нагрузкѣ распредѣленіе внутреннихъ силъ будетъ слѣдующее. Въ среднемъ сѣченіи *m*, фиг. 18, получится наибольшій прогибъ, и всѣ частицы выше нейтральнаго слоя *o* будутъ сжаты, а ниже—растянуты; при этомъ напряженія этихъ внутреннихъ сжимаю-

щихъ и растягивающихъ силъ будутъ увеличиваться по мѣрѣ удаленія отъ нейтральнаго слоя, такъ что наибольшія сжимающія усилія получатся въ частицахъ верхней поверхности *m*, а наибольшія растягивающія — въ частицахъ нижней поверхности *n*. Въ сѣченіяхъ же *AE* и *BF*, взятыхъ у закрѣпленныхъ концовъ, распредѣленіе внутреннихъ силъ будетъ обратное, т. е. всѣ частицы выше нейтральнаго слоя *O* — растянуты, а ниже его — сжаты, и наибольшія напряженія получаютъ въ верхнихъ и нижнихъ наружныхъ частицахъ. Желѣзо лучше всего сопротивляется растяженію, бетонъ же сжатію; поэтому, для извлеченія наибольшей выгоды изъ сочетанія этихъ двухъ матеріаловъ, желѣзные прутья надо расположить и закрѣпить такъ, какъ предложено въ описываемой системѣ. Тогда можно съ увѣренностью разсчитывать, что въ наиболѣе опасныхъ сѣченіяхъ (посрединѣ и надъ опорами) желѣзные прутья будутъ сопротивляться главнымъ образомъ растяженію, бетонъ же — сжатію. Кромѣ того, получается возможность опредѣлить эти наибольшія напряженія и съ достаточною точностью разсчитать составныя части покрытія.

Та же система покрытія съ большими выгодами примѣнима въ желѣзныхъ мостахъ для перекрытія промежутковъ между поперечными или продольными балками.

Преимущества этой системы сравнительно съ другими слѣдующія:

1) При ничтожной толщинѣ покрытія, строительныя качества желѣза и бетона утилизируются полностью; при этомъ желѣзо прутьевъ и двутавровыхъ балокъ прикрито, и предохранено бетономъ отъ ржавчины и непосредственнаго дѣйствія высокой температуры.

2) Какъ выяснилъ опытъ, является полное отсутствіе трещинъ при значительныхъ нагрузкахъ, вызывающихъ эти трещины въ другихъ системахъ, что объясняется удачнымъ распредѣленіемъ матеріаловъ.

3) При значительныхъ пролетахъ (6 метр.) замѣчается отсутствіе горизонтальнаго распора, требующаго въ другихъ

конструкціяхъ толстыхъ стѣнъ или желѣзныхъ связей, усложняющихъ и затрудняющихъ постройку.

4) Въмѣстѣ съ этимъ предлагаемое покрытие является дешевымъ и удобопримѣнимымъ при всякихъ условіяхъ.

5) Въ архитектурномъ отношеніи нижнія поверхности покрытія, фиг. 15 и 17, представляютъ большія плоскости и красивыя цилиндрическія поверхности, которыя поддаются хорошей обработкѣ при устройствѣ потолковъ, балконовъ и проч.

Кромѣ того, значительные пролеты (6 метр.) не затрудняютъ распредѣленія большихъ оконъ и другихъ отверстій.

6) Незначительная толщина покрытія мало стѣсняетъ высоту помѣщеній и позволяетъ устраивать болѣе высокія окна.

7) Верхняя поверхность покрытія представляетъ одну плоскость, не требуетъ забутовки; при устройствѣ пола не образуется пустотъ, способствующихъ развитію паразитовъ, гнили или скопленію грязи.

8) Устройство покрытія просто и не требуетъ никакихъ особенныхъ работъ.

Для уменьшенія теплопроводности и звукопроводности верхняя поверхность покрывается обыкновеннымъ деревяннымъ поломъ, или linoleum'омъ съ подкладкой картона или войлока, пропитаннаго гудрономъ или другими антисептическими веществами; наконецъ, можно сдѣлать обыкновенную смазку, бетонный или лещадный полъ.

Разсчетъ плоскаго покрытія системы Кюппеля.

Если разсматривать часть плоскаго покрытія между двумя смежными балками, фиг. 19, *A* и *B*, какъ упругую балку съ закрѣпленными концами, то разсчетъ покрытія можно сдѣлать на основаніи слѣдующихъ соображеній:

Обозначимъ въ фиг. 19 и 21:

1) пролетъ чрезъ l ,

2) тощину покрытія— d ,

3) полную нагрузку, включая собственный вѣсъ покрытія—чрезъ p , такъ что наибольшій изгибающій моментъ въ среднемъ

сѣченія m , фиг. 19, выразиться чрезъ $M = \frac{pl^2}{24}$,

4) F — общую площадь поперечнаго сѣченія всѣхъ прутьевъ при ширинѣ плиты b сантим.,

5) y_2 —разстояніе отъ центра тяжести поперечнаго сѣченія прута до нейтральнаго слоя,

6) y_1 —разстояніе отъ верхнихъ частицъ бетона до нейтральнаго слоя,

7) R_1 —наибольшее допускаемое напряженіе для бетона при сжатіи,

8) R_2 —наибольшее напряженіе для желѣза при растяженіи,

9) a —разстояніе отъ центра сѣченія прута до нижней поверхности плиты.

Для опредѣленія четырехъ неизвѣстныхъ: d , F , y_1 и y_2 получимъ слѣдующія 4 уравненія:

Изъ чертежа № 21 видно, что

$$y_1 + y_2 + a = d. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Допуская, что при прогибѣ среднее плоское сѣченіе m , фиг. 21, выразится плоскимъ же сѣченіемъ m_1n_1 , причемъ наибольшее сжатіе верхнихъ частицъ бетона равно e_1 и наибольшее удлиненіе для желѣза— e_2 , получимъ изъ подобія треугольниковъ mm_1o и nn_1o

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{y_1}{y_2}.$$

Или, принимая во вниманіе, что при упругой деформаци

$R_1 = e_1 \cdot E_1$ и $R_2 = e_2 E_2$, получимъ

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{e_1 E_1}{e_2 E_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Для равновѣсія выдѣленной части покрытія необходимо:

1) чтобы сумма проекцій всѣхъ силъ на горизонтальную ось равнялась нулю, и

2) сумма моментов всѣхъ внутреннихъ силъ, являющихся въ сѣченіи mn , относительно центра o этого сѣченія равнялась бы суммѣ моментовъ внѣшнихъ силъ относительно той же точки.

Если принять, что наибольшее допускаемое напряженіе при сжатіи бетона $R = 30$ кил. на кв. сант., отложить, фиг. 24, $ma = R_1$ и соединить точку a съ точкой o нейтральной оси, то напряженіе внутренней сжимающей силы въ любой частицѣ бетона въ разстояніи v отъ нейтральной оси o выразится отрѣзкомъ t , параллельнымъ R_1 и заключеннымъ между прямыми mn и oa .

Отсюда слѣдуетъ, что равнодѣйствующая $(+T_1)$ всѣхъ сжимающихъ внутреннихъ силъ для бетона, фиг. 25, можетъ быть выражена объемомъ призмы omm_1 , o , aa_1 съ треугольнымъ основаніемъ oma , равнымъ $\frac{R_1 \cdot y_1}{2}$, и съ высотой $mm_1 = b$, т. е. равной ширинѣ разсматриваемаго покрытія.

$$\text{Такимъ образомъ } +T_1 = \frac{R_1 \cdot y_1 \cdot b}{2}.$$

Эта равнодѣйствующая $(+T_1)$ всѣхъ внутреннихъ сжимающихъ силъ для бетона должна пройти чрезъ центр тяжести указанной призмы, фиг. 24 и 25, т. е., фиг. 24, чрезъ центръ тяжести треугольника oma .

Поэтому разстояніе отъ равнодѣйствующей $(+T_1)$ до нейтральной оси o выразится, фиг. 24, $ok = \frac{2y_1}{3}$.

На основаніи изложеннаго, первое статическое условіе равновѣсія, т. е. чтобы сумма проекцій всѣхъ силъ на горизонтальную ось равнялась нулю, выразится, фиг. 24 и 25, такъ:

$$\begin{aligned} \frac{R_1 \cdot y_1 \cdot b}{2} - R_2 \cdot F &= 0 \text{ или} \\ \frac{R_1 \cdot y_1 \cdot b}{2} &= R_2 \cdot F \quad (3) \end{aligned}$$

Второе же условіе равновѣсія выдѣленной части покрытія, требующее, чтобы сумма моментовъ всѣхъ внутреннихъ силъ, являющихся въ сѣченіи mn , фиг. 19, 24 и 25, относительно центра тяжести o этого сѣченія равнялась суммѣ

моментовъ внѣшнихъ силъ относительно той же точки o , выразится:

$$\frac{R_1 \cdot y_1 \cdot b}{2} \cdot \frac{2y_1}{3} + R_2 \cdot R \cdot y_2 - M = 0 \text{ или}$$

$$\frac{R_1 \cdot y_1^2 \cdot b}{3} + R_2 \cdot F \cdot y_2 = M. \quad (4)$$

Если принять $R_1 = 30$ кил. на кв. сант. (для смѣси 1 : 3)
 $R_2 = 750$ кил. на кв. сант.

$$\text{и } \frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{25},$$

то изъ (2) уравненія получимъ

$$\frac{30}{750} = \frac{1}{25} \frac{y_1}{y_2},$$

$$\text{или } y_1 = y_2.$$

При ширинѣ плиты $b = 100$ сантим. изъ третьяго (3) уравненія слѣдуетъ

$$\frac{30 \cdot y_1}{2} \cdot 100 = F \cdot 750; \quad (3a)$$

$$\text{отсюда } F = 2y_1.$$

Подставляя эти значенія въ (4) уравненіе, получимъ

$$\frac{30 \cdot y_1^2}{3} \cdot 100 + 2y_1 \cdot 750 \cdot y_1 = M; \text{ или}$$

$$2.500y_1 = M$$

$$y_1 = \frac{1}{50} \sqrt{M} \quad (a)$$

Прутья, подверженные растяженію, выгодно расположить возможно ближе къ нижней поверхности покрытія. Принимая $a = \frac{d}{10}$, получимъ изъ уравненія (1)

$$2y_1 = \frac{d}{10} = d,$$

$$\text{или } d = \frac{20 \cdot y_1}{9} \quad (b)$$

Изъ уравненій (a) и (b) слѣдуетъ

$$d = \frac{1}{22,5} \sqrt{M}.$$

При ширинѣ плиты $b = 100$ сантим.

$$\text{или } d = \frac{l}{\Pi} \sqrt{p} (e)$$

$$\frac{30 \cdot y_1}{2} \cdot 100 = F \cdot 750 \text{ и равенства (b)}$$

$$A = \frac{20 \cdot y_1}{9} \text{ получимъ}$$

$$F = \frac{9 \cdot d}{10} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (f)$$

» » КВАДРАТНЫХЪ САНТИМЕТРАХЪ.

$$p = 700 + 210 = 910 \text{ килогр.},$$

то: 1) $d = \frac{3.65}{11} \sqrt{910} = 10$ сантим.;

$$2) F = \frac{9 \cdot d}{10} = 9 \text{ кв. сант.}$$

Принимая толщину желѣзныхъ прутьевъ $\delta = 1$ сантим.
при площади поперечнаго сѣченія

$$f = \frac{\pi \delta^2}{4} = \frac{3,14}{4} = 0,79 \text{ кв. сантим.},$$

опредѣлимъ число прутьевъ

$$n = \frac{F}{f} = \frac{9}{0.79} = 12 \text{ шт.}$$

Разстояніе между ними

$$e = \frac{100}{12} = 8,3 \text{ сантим.}$$

Въ случаѣ сосредоточенныхъ грузовъ, напримѣръ при давленіи колесъ равномъ P , наибольшія напряженія получаются, когда сосредоточенный грузъ P расположенъ посрединѣ пролета; у опоръ изгибающій моментъ выразится чрезъ $M = \frac{Pl}{8}$.

Давленіе отъ сосредоточеннаго груза P распредѣлится на нѣкоторую площадь покрытія чрезъ посредство мостовой.

Если примѣнить поперечные прутья для передачи давленія возможно большому числу продольныхъ прутьевъ, то, при надлежащей толщинѣ песку въ основаніи мостовой, можно принять, что давленіе отъ P распредѣлится по площади квадрата, сторона котораго равна толщинѣ покрытія увеличенной въ восемь разъ.

Поэтому расчетъ можно вести по воображаемой равномерно распредѣленной нагрузкѣ p кил. на кв. м., вызывающей тѣ же напряженія какъ и данный сосредоточенный грузъ P , и величина которой опредѣлится изъ уравненія

$$\frac{P \cdot l}{8} = \frac{p l^2}{24} \cdot 8d; \text{ отсюда}$$

$$p = \frac{3}{8} \cdot \frac{P}{l \cdot d}, \text{ гдѣ}$$

d и l выражены въ метрахъ.

Если, напримѣръ, $P=2.000$ килогр., $l=2,5$ метра и требуется опредѣлить толщину покрытія и площадь поперечнаго сѣченія всѣхъ прутьевъ, то для простоты рѣшенія можно задаться нѣкоторою толщиной $d=0,12$ м. Подставивъ въ приведенное уравненіе, получимъ

$$p = \frac{3}{8} \cdot \frac{P}{l \cdot d} = \frac{3 \times 2000}{8 \times 2,5 \times 0,12} = 2.500 \text{ кил. на кв. м.}$$

Если принять вѣсъ покрытія 300 кил. на кв. м., то полная нагрузка $q=2.800$ килогр.

По формулѣ (с)

$$d = \frac{l}{11} \sqrt{p} = \frac{2,5}{11} \sqrt{2.800} = 13 \text{ сантим.}$$

Слѣдовательно, искомая толщина d заключается между 12 и 13 сантим.

Принявъ $d=12$ сантим., получимъ изъ формулы (d)

$$F = \frac{9,13}{10} = 11,7 \text{ кв. сент.}$$

При устройствѣ покрытія, показанномъ въ фиг. 17, гдѣ концы прутьевъ прикрѣплены къ полосамъ желѣза, лежа-

щимъ на анкерахъ, требуется значительное число анкеровъ или полосы съ большимъ поперечнымъ сѣченіемъ.

Если допустимъ, что въ приведенномъ выше примѣрѣ при пролетѣ $l=3,65$ метра, толщинѣ плиты $d=10$ сантим., при 12 шт. прутьевъ поперечнаго сѣченія 0,79 кв. сантим. въ одномъ погонномъ метрѣ допущена полная нагрузка 910 кил. на кв. метръ, то наибольшая растягивающая сила для одного прута выразится:

$$750 \times 0,79 = 592,5 \text{ килогр.}$$

Поэтому на 1 погон. метръ желѣзной полосы придется общее давленіе

$$592,5 \times 12 = 7.110 \text{ килогр.}$$

Если принять разстояніе l между анкерами въ 1 метръ, назвать ширину полосы — b , толщину — a , то размѣры ея опредѣлятся изъ уравненія

$$\frac{p l^2}{8} = \frac{7.110 \times 100}{8} = 750 \frac{a b^2}{6},$$

Принимая $a=5$ сантим., получимъ

$$b^2 = \frac{7.100 \times 100 \times 6}{750 \times 5 \times 8} = 142,2$$

$$b = \sqrt{142,2} = 11,9 \text{ сантим. (12 сантим.).}$$

Поперечное сѣченіе ея

$$q = 12 \times 5 = 60 \text{ кв. сантим.};$$

въсь 1 пог. метра

$$p = \frac{60 \times 1007,8}{1.000} = 46,8 \text{ килогр.}$$

Поэтому при такихъ значительныхъ пролетахъ и нагрузкахъ невыгодно примѣнять подобное устройство, при которомъ полосы желѣза подвержены изгибу. Во всѣхъ случаяхъ, когда продольные прутья должны быть закрѣплены у стѣны, лучше всего принять способъ закрѣпленія, показанный въ фиг. 27 (въ планѣ) и въ фиг. 28 (въ поперечномъ разрѣзѣ).

Тонкіе желѣзные прутья изогнуты плоскимъ змѣевикомъ, фиг. 27; длина каждой петли нѣсколько больше толщины стѣны, крючья продольныхъ прутьевъ b покрытія захваты-

ваютъ петли съ двухъ сторонъ, и такимъ образомъ вся масса желѣза змѣвика и продольныхъ прутьевъ покрытія будетъ подвержена одному растяженію. Сжимая или растягивая змѣвикъ, можно получить требуемое разстояніе между петлями и прутьями покрытія. Змѣвикъ укладывается въ горизонтальномъ швъ стѣны на требуемой высотѣ и заливается цементнымъ растворомъ. Концы *a*, фиг. 27, отдѣльных змѣвиковъ доводятся до середины стѣны; для большей прочности крайнихъ петель можно загибать концы *a* крючками такъ, чтобы всѣ отдѣльные змѣвики были связаны въ одно цѣлое, хотя при кладкѣ на цементномъ растворѣ связь между желѣзомъ и цементомъ получается на столько прочною, что концы змѣвиковъ можно оставлять свободными, доводя ихъ до $\frac{1}{2}$ или $\frac{3}{4}$ толщины стѣны.

Разрыву змѣвика сопротивляются въ каждой петлѣ, фиг. 27, двѣ ея вѣтви. Поэтому поперечное сѣченіе проволоки змѣвика должно равняться половинѣ поперечнаго сѣченія прутьевъ покрытія.

Въ приведенномъ выше примѣрѣ толщина продольныхъ прутьевъ опредѣлена $\delta = 10$ милим.; поэтому для змѣвика можно принять проволоку толщиной δ_1 , которая опредѣлится изъ уравненія

$$\frac{\pi \cdot \delta^2}{4} = \frac{2 \pi \cdot \delta_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 100}{4}, \text{ или}$$

$$\delta_1 = \sqrt{50} = (7) \text{ милим.}$$

Если толщина стѣны, фиг. 27 и 28, равна 1,5 кирпичамъ, или около 40 сантим., то длину каждой вѣтви петли можно принять около 55 сантим. При 12-ти продольныхъ прутьяхъ на 1 погон. метръ покрытія потребуется 12 петель, при общей длинѣ проволоки $0,55 \times 12 \times 2 = 13,3$ метр.

Всѣ 1 пог. метра проволоки толщиной $\delta_1 = 7$ милим. будетъ $p_1 = 0,3$ килогр.

Поэтому при такомъ способѣ закрѣпленія прутьевъ потребуется на 1 пог. метръ покрытія $0,3 \times 13,3 = 3,96$ килогр. желѣза.

При употребленіи же полосъ, фиг. 17, не включая вѣса анкеровъ, требовалось бы желѣза

$$2 \times 46,8 = 93,6 \text{ килогр.},$$

$$\text{т. е. въ } \frac{93,6}{3,96} = 23,6 \text{ разъ больше.}$$

Кромѣ такого значительнаго сбереженія въ количествѣ желѣза, получается еще простота устройства, такъ какъ для закрѣпленія змѣвика стѣна доводится до требуемой высоты, отдѣльные змѣвики укладываются надлежащимъ образомъ, покрываются слоемъ цементнаго раствора, и затѣмъ кладка стѣны продолжается, не требуя дополнительныхъ работъ, какъ при закрѣпленіи анкеровъ.

При значительной ширинѣ помѣщенія, когда необходимо примѣнить двутавровыя желѣзныя балки, фиг. 15, является вопросъ, какъ закрѣпить концы продольныхъ прутьевъ, прилежающіе къ наружнымъ стѣнамъ?

Практика выяснила, что лучше всего оставлять эти концы незакрѣпленными и рассчитывать покрытие какъ плиту съ одною закрѣпленною опорой, а съ другою свободной, фиг. 29. При такихъ условіяхъ наибольшій изгибающій моментъ получится въ сѣченіи на разстояніи $\frac{3}{16}$ пролета l_1 отъ незакрѣпленной опоры и выразится чрезъ

$$M_1 = \frac{9 p l_1^2}{128}, \text{ гдѣ}$$

p кил. на кв. м. выражаетъ равномерно распределенную нагрузку,

l_1 —разстояніе отъ полки крайней балки до стѣны.

Для плиты съ обѣими закрѣпленными опорами наибольшій расчетный изгибающій моментъ выразится чрезъ $M = \frac{p l^2}{24}$.

Поэтому при той же толщинѣ покрытия d получимъ $\frac{9 p l_1^2}{128} = \frac{p l^2}{24}$; отсюда

$$l_1 = \sqrt{\frac{128 l^2}{216}} = 0,77 l \text{ или около } \frac{2}{3} l.$$

Такимъ образомъ, при одной и той же толщинѣ покрытия d разстояніе l_1 крайней балки отъ стѣны должно

составлять около $\frac{2}{3}$ расстоянія l между средними балками, представляющими закрѣпленныя опоры.

Въ строительномъ отношеніи весьма важна упругость покрытія, которая опредѣляется величиной прогиба остающагося и исчезающаго (упругаго) при послѣдовательныхъ нагрузкахъ и разгрузкахъ.

Испытанія, произведенныя 12-го декабря 1897 г. официальною комиссіей, вполне подтвердили результаты теоретической разработки вопроса о сопротивленіи покрытія.

Результаты опытныхъ нагрузокъ.

Испытанію подвергалось покрытіе приведенныхъ выше размѣровъ, т. е. при разстояніи между полками двутавровыхъ балокъ $l=2,8$ метра; толщина покрытія посрединѣ $d=10$ сантим.; діаметръ прутьевъ $\delta = 1$ сантим.; разстояніе между ихъ центрами $b=6$ сантим. и отъ внутренней поверхности $a=1,5$ сантим. Составъ бетона: 1 часть цемента и 4 части песку.

Прогибы измѣрялись особымъ рычажнымъ приборомъ; величины равномерно распределенныхъ нагрузокъ и соотвѣствующихъ прогибовъ приведены въ прилагаемой таблицѣ 1.

Т а б л и ц а 1.

Полная равномерно распределенная на- грузка въ килогр.	Нагрузка на 1 кв. метръ, въ килогр.	Величина прогиба въ сантим.
1.117	381	0,06
2.117	722	0,11
3.117	1.064	0,16
4.117	1.405	0,22
5.117	1.746	0,26
6.117	1.087	0,33
7.117	2.429	0,41
8.117	2.770	0,51
9.117	3.111	0,58
10.117	3.452	0,68
11.117	3.793	0,76
12.117	4.134	0,85
13.117	4.476	0,95
14.117	4.817	1,02
15.117	5.158	1,10
16.117	5.500	1,18
17.118	5.841	1,32
18.117	6.182	1,42
19.116	6.523	1,50
20.245	6.910	1,67

Наибольшая нагрузка 20.245 килогр. оставалась на покрытіи 4 дня, и въ первый день прогибъ увеличился на 0,25 сантим., а въ слѣдующій день еще на 0,02 сантим.; въ теченіе же двухъ послѣднихъ дней увеличенія прогиба не наблюдалось, такъ что наибольшій полученный прогибъ равенъ

1,67 сантим. + 0,25 сантим. + 0,02 сантим. = 1,94 сантим.

При постепенной разгрузкѣ прогибъ уменьшался слѣдующимъ образомъ:

Нагрузка дѣйствующая на покрытие, въ килогр.	Разгрузка полная въ килогр.	Разгрузка на 1 гр./метръ въ килогр.	Прогибъ въ сантим.
19.117	1.128	385	1,93
18.117	1.000	341	1,92
17.117	—	—	1,89
16.117	—	—	1,86
15.117	—	—	1,82
14.117	—	—	1,76
13.117	—	—	1,73
12.117	—	—	1,71
11.117	—	—	1,66
10.117	—	—	1,59
9.117	—	—	1,51
8.117	—	—	1,44
7.117	—	—	1,36
6.117	—	—	1,27
5.117	—	—	1,18
4.117	—	—	1,10
3.117	—	—	1,01
2.117	—	—	0,79
1.117	—	—	0,64
0	1.117	371	0,58

Послѣ полной разгрузки наблюдалось дальнѣйшее уменьшеніе прогиба и по истеченіи двухъ дней остался ничтожный прогибъ въ 0,06 сантим.

При наибольшей нагрузкѣ, равно какъ и при постепенной разгрузкѣ, въ покрытіи при самомъ тщательномъ изслѣдованіи не оказалось никакихъ трещинъ или ничтожныхъ поврежденій. Коммисія признала предложенное покрытие очень выгоднымъ въ смыслѣ примѣненія и расхода матеріала. Быстрое примѣненіе и распространеніе въ Германіи (104.000 квад. метровъ въ теченіе полугода) доказываютъ

его практичность и указанные выше преимущества сравнительно съ другими болѣе тяжелыми и дорогими покрытиями.

Въ фиг. 26 зависимость между нагрузками и соответствующими прогибами выражена графически ломанными линиями: 1) OAM —при постепенной нагрузкѣ, и 2) ON —при разгрузкѣ.

По вертикальной оси отложены опытные прогибы, увеличенные въ десять разъ, по горизонтальной же оси—полныя нагрузки на все покрытие.

Изъ разсмотрѣнія ломанной $OABM$ слѣдуетъ, что при постепенныхъ нагрузкахъ отъ 0 до 4.117 килогр., или 1.405 килогр. на квадр. м., зависимость между прогибами и соответственными нагрузками выражается прямою линіей OD , т. е. прогибы въ указанныхъ предѣлахъ пропорціональны нагрузкамъ, и поэтому все покрытие можно разсматривать какъ упругое тѣло. Допускаемой на практикѣ нагрузкѣ $p = 1.200$ килогр.-метр., или 3.360 килогр. на 1 погонный метръ покрытія, т. е. абсциссѣ Oa , соответствуетъ прогибъ Aa , равный 0,17 сантим. При этомъ допускаемая нагрузка меньше той предѣльной нагрузки ($od = 4.117$ килогр.), которая соответствуетъ указанному предѣлу упругости (точка D).

Ломанная линія $OADB$ весьма близко подходитъ къ прямой OB . Обращая вниманіе на то, что ординаты діаграммы равны удешаженнымъ дѣйствительнымъ прогибамъ, можно принять, что точка B соответствуетъ предѣлу упругости. Абсцисса ея $ob = 7.117$ килогр. на 1 пог. метръ, или $p_1 = 2.429$ килогр.-метр., выразить предѣльную нагрузку, вызывающую упругія прогибы. Въ этомъ случаѣ допускаемая нагрузка $p = 1.200$ килогр. на кв. м. составитъ половину предѣльной.

Наконецъ, вся ломанная $OABM$ сравнительно мало удаляется отъ прямой OC , и поэтому, въ общемъ, можно допустить, что прогибы пропорціональны опытнымъ нагрузкамъ въ предѣлахъ отъ 0 до 20.245 килогр. на 1 погон-

ный метръ, или 6.910 кил. на кв. м. покрытія, что составляет почти ушестиренную допускаемую нагрузку.

Разность между крайним ордонатами $mN - mM = MN$ выражает удесятиренное увеличеніе прогиба при продолжительномъ дѣйствіи нагрузки (два дня): та же разность ордонатъ для промежуточныхъ нагрузокъ выразитъ удесятиренную разность прогибовъ при разгрузкѣ и нагрузкѣ, принимая во вниманіе указанное выше увеличеніе прогиба MN отъ продолжительнаго дѣйствія наибольшей нагрузки. При полной разгрузкѣ оставшійся прогибъ въ 0,58 сантим. уменьшился въ теченіе двухъ дней до 0,06 сантим., т. е. почти исчезъ. Все это доказываетъ, что предложенное покрытіе при большихъ и продолжительныхъ нагрузкахъ обладаетъ какъ-бы нѣкоторою тягучестью, даетъ значительную деформацію, исчезающую при разгрузкѣ. Это свойство важно въ томъ отношеніи, что передъ полнымъ разрушеніемъ покрытія должна явиться постепенно значительная, замѣтная деформація, и потому нельзя ожидать внезапнаго, быстрого обрушенія.

3) Ребристое желѣзо-бетонное покрытіе инженера Коененъ'a.

При устройствѣ описаннаго выше плоскаго покрытія изъ плитъ Монье желѣзныя двутавровыя балки служатъ опорами для плитъ. При отсутствіи какой-либо прочной взаимной связи между плитами и поддерживающими ихъ балками каждая изъ этихъ двухъ составныхъ частей покрытія сопротивляется дѣйствію нагрузки совершенно независимо, самостоятельно. Желѣзо, распределенное надлежащимъ образомъ въ плитахъ, сопротивляется почти исключительно растяженію, т. е. утилизируется наивыгоднѣйшимъ образомъ; желѣзо же двутавровыхъ балокъ, подверженныхъ изгибу, работаетъ частью на растяженіе, частью на сжатіи, т. е. примѣнено съ меньшею выгодой. Эта потеря въ наиболѣе дорогомъ матеріалѣ является значительною при небольшихъ сравнительно разстояніяхъ между балками (до 1,2—2,8 метр.).

Инженеръ Коененъ, желая избѣжать этой потери, предло-

жилъ ребристое желѣзо-бетонное покрытие, черт. II, фиг. 30 и 32, въ которомъ вся масса желѣза сопротивляется почти исключительно растяженію, а бетонъ—сжатію. Все покрытие по идеѣ представляетъ одну плиту Монье, въ которой желѣзные продольные прутья замѣнены двутавровымъ или однотоавровымъ желѣзомъ незначительной высоты (№ 8 или № 10 норм. германск. профили).

Каждая такая желѣзная балка, фиг. 31, окружена бетономъ и вмѣстѣ съ нимъ образуетъ отдѣльный элементъ покрытия, представляющій какъ-бы одну желѣзо-бетонную балку, за которой оба матеріала связаны въ одно цѣлое и могутъ быть примѣнены наивыгоднѣйшимъ образомъ при надлежащемъ распредѣленіи.

Разстояніе между желѣзными балками отъ 25 сант. до 30 сант. Въ промежуткахъ между ними бетонъ образуетъ маленькіе своды, желоба. При такомъ устройствѣ является возможность получить требуемую прочную связь между бетономъ и желѣзомъ, и подвергнуть желѣзо почти одному растяженію, примѣняя для этого наименьшее количество бетона. Благодаря этому, получается сравнительно легкое, прочное, вполне монолитное покрытие. Оно выгодно при значительной длинѣ или ширинѣ помещенія, когда можно расположить поперечныя балки, опирающіяся на колонны. При постоянныхъ разстояніяхъ между балками покрытия устройство его весьма просто, примѣняя для сводиковъ формы изъ желѣзныхъ изогнутыхъ листовъ *a*, фиг. 32, которые подвѣшиваются къ балкамъ особыми скобами. При этомъ внутреннія поверхности сводиковъ получаются настолько правильными и гладкими, что не требуютъ штукатурки.

Для уменьшенія тепло-и звукопроводности можно сдѣлать потолочную обшивку, фиг. 33 и 34, и штукатурку, располагая на нижнихъ полкахъ балокъ короткіе деревянные бруски, поддерживающіе потолокъ.

Покрытие подвергалось испытаніемъ въ «Königliche Bau-polizei» (Berlin) въ сентябрѣ 1894 г.; результаты этихъ опытовъ приведены ниже.

Разсчетъ ребристаго покрытія.

Главныя основанія разсчета тѣ же какъ и въ предыдущихъ случаяхъ, т. е. предполагается:

1) что бетонъ сопротивляется одному сжатію, а желѣзо—растяженію, и 2) любое плоское сѣченіе m , фиг. 36, при деформармаціи покрытія остается плоскимъ же m_1 .

Выше было пояснено, что измѣняя количество желѣза, расположеннаго въ нижней части покрытія, можно заставить бетонъ принять большее или меньшее участіе въ сопротивленіи раздробленію, вызывая этимъ соотвѣтственное перемѣщеніе нейтральнаго слоя.

Въ приведенномъ ниже способѣ разсчета предполагается, что количество и распредѣленіе желѣза подобраны такъ, чтобы нейтральный слой OO касался верхнихъ полокъ двуторовыхъ балокъ, фиг. 35. При такомъ условіи получится наивыгоднѣйшее распредѣленіе матеріаловъ, такъ какъ главная масса бетона, фиг. 35, лежащая выше нейтральнаго слоя, будетъ подвержена исключительно сжатію, а желѣзо—одному растяженію. Незначительное количество бетона ниже нейтральнаго слоя можетъ оказать ничтожное сопротивленіе растяженію, и поэтому можетъ быть не принято въ разсчетъ. Такимъ образомъ, бетонъ ниже нейтральнаго слоя будетъ служить только для связи желѣза съ главною массой бетона.

Поэтому для возможно меньшаго расхода бетона шельги сводиковъ должны касаться нейтральнаго слоя, т. е. подъемъ ихъ долженъ равняться высотѣ балокъ.

Для примѣрнаго разсчета положимъ, что требуемая высота покрытія равна $H = 20$ сант., фиг. 35, 36; допускаемое наибольшее напряженіе:

для бетона $R_1 = 30$ кил. на кв. сант.

для желѣза $R_2 = 750$ кил. на кв. сант.

полезная нагрузка $q = 450$ кил. на кв. метръ.

Требуется опредѣлить:

1) наивыгоднѣйшій пролетъ l ,

- 2) наименьшую толщину бетона — c ,
- 3) высоту h и размѣры желѣзныхъ двутавровыхъ балокъ, и
- 4) разстояніе между ними — b .

По условію

$$H = c + h = 20. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Если допустимъ, фиг. 36, что среднее сѣченіе mn при деформации покрытія выразится плоскимъ же сѣченіемъ m_1n_1 и назовемъ e_1 и e_2 измѣненія длины крайнихъ частицъ бетона и желѣза, то изъ подобія треугольниковъ omm_1 и onn_1 получимъ:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{c}{h}.$$

Съ другой стороны, $e_1 = \frac{R_1}{E_1}$ и $e_2 = \frac{R_2}{E_2}$, гдѣ E_1 и E_2 — коэффициенты упругости для бетона при сжатіи и для желѣза — при растяженіи.

Подставляя эти значенія въ предъидущее уравненіе, получимъ

$$\frac{R_1 \cdot E_2}{E_1 \cdot R_2} = \frac{c}{h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

Для бетона состава 1:3 можно принять въ среднемъ $E_1 = 80.000$ кил. на кв. сант. а для литаго желѣза $E_2 = 2.000.000$ кил. на кв. сант.

Поэтому, подставляя вмѣсто R_1 и R_2 данныя предѣльные напряженія, получимъ

$$\frac{30 \times 2.000.000}{80.000 \times 750} = \frac{c}{h} \text{ или } 1 = \frac{c}{h}, \text{ т. е.} \\ c = h, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Слѣдовательно, при слѣданныхъ основныхъ предположеніяхъ наименьшая толщина бетона равна высотѣ балки.

Изъ уравненій (1) и (2) слѣдуетъ:

$$2c = 20,$$

$$c = 10 \text{ сант.},$$

$$h = 20 - 10 = 10 \text{ сант.}$$

По высотѣ h при данномъ сортиментѣ желѣза опредѣлятся размѣры поперечнаго сѣченія двутавровой балки. Для

нормальной германской профили № 10, фиг. 35, ширина палки $b_1 = 5$ сант.; толщина ребра $d = 0,45$ сант.; толщина полки $z = 0,68$ сант., площадь поперечнаго сѣченія $F_1 = 10,7$ кв. сант.; вѣсъ 1 пог. метра — $p = 8,3$ килогр.

Такимъ образомъ, остается опредѣлить:

- 1) разстояніе между балками, и
- 2) наивыгоднѣйшій пролетъ l .

Допустимъ, что при ширинѣ покрытія $B = 100$ сант. равнодѣйствующая всѣхъ внутреннихъ сжимающихъ силъ для бетона выразится чрезъ T_1 , и равнодѣйствующая внутреннихъ растягивающихъ силъ для желѣза — T_2 , фиг. 37.

Для равновѣсія выдѣланной половины покрытія, лежащей влѣво отъ сѣченія mn , фиг. 37, зависимость между внутренними и внѣшними силами выразится слѣдующими двумя статическими условіями:

- 1) $T_1 = T_2$
- 2) $M = W$, т. е.

моментъ внѣшнихъ силъ относительно центра O сѣченія mn долженъ равняться суммѣ моментовъ W внутреннихъ силъ T_1 и T_2 относительно того же центра.

Въ первомъ условіи T_1 выразится объемомъ треугольной призмы Omm_1 , фиг. 37, и пройдетъ чрезъ центръ тяжести треугольника Omm_1 ;

$$T_1 = \frac{30 \times 100 \cdot c}{2} = 1.500 \text{ с.}$$

Подобнымъ же образомъ въ каждомъ элементѣ покрытія равнодѣйствующая растягивающихъ силъ T_2 выразится объемомъ $Omm_1 = v$, фиг. 37 и 38, и пройдетъ чрезъ его центръ тяжести.

Если обозначимъ площадь поперечнаго сѣченія всѣхъ желѣзныхъ балокъ, при ширинѣ покрытія $B = 100$ сант., чрезъ F , то, фиг. 38,

$$T_2 = F \cdot \frac{750 + 0}{2} = 375 \cdot F,$$

гдѣ 750 кил. на кв. сант. наибольшее напряженіе въ нижнихъ частицахъ балки.

Такимъ образомъ, изъ перваго условія равновѣсія получимъ

$$1.500\ c = 375\ F\ \text{милл.}\ 4\ c = F \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

т. е., вообще, площадь поперечнаго сѣченія всего желѣза заключаетъ столько квадратныхъ сантиметровъ, сколько линейныхъ сантиметровъ содержится въ учетверенной толщинѣ бетона.

Въ данномъ случаѣ $c = 10$ сант.; слѣдовательно

$$F = 4 \times 10 = 40\ \text{кв. сант.}$$

Поперечное сѣченіе двуглавой балки № 10

$$F_1 = 10,7\ \text{кв. сант.};$$

поэтому число балокъ (n) при ширинѣ покрытія 100 сант. равно

$$n = \frac{40}{10,7} = 3,74$$

и разстояніе между ними (b), фиг. 35,

$$b = \frac{100}{3,74} = 26,73\ \text{сант. (27 сант.)}.$$

Наивыгоднѣйшій пролетъ опредѣлится изъ 2-го условія равновѣсія:

$$\underline{M} = \frac{pl^2}{8} = W, \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

гдѣ p — полная нагрузка на 1 кв. метръ покрытія, а W — сумма моментовъ равнодѣйствующихъ T_1 и T_2 относительно центра O , фиг. 37.

Вѣсъ 1 кв. метра покрытія (q_1) примѣрно выразится, принимая среднюю толщину бетона $h_1 = 10 + \frac{10}{2} = 15$ сант., чрезъ

$$q_1 = 2.000 \times 0,15 + 0,00107 \times 3,74 \times 2.000 + 8,3 \times 3,74 = 323\ \text{кил. на кв. сант.}$$

Поэтому полная нагрузка будетъ

$$p = q + q_1 = 450 + 323 = 773\ \text{кил. на кв. сант.}$$

Моментъ равнодѣйствующей T_1 относительно центра O , фиг. 37, выразится такъ:

$$M_1 = \frac{2\ c\ T_1}{3} = \frac{2 \times 10 \times 15.000}{3 \cdot 4} = 100.000\ \text{кил.-сант.}$$

Моментъ равнодѣйствующей T_2

$$M_2 = T_2 \cdot x, \text{ гдѣ}$$

x — разстояніе отъ центра тяжести объема v , фиг. 38 и 37, до нейтральнаго слоя. Опредѣлить его можно слѣдующимъ образомъ.

Назовемъ объемъ треугольной части ребра, фиг. 38 чрезъ v_1 и разстояніе отъ его центра тяжести до нейтральнаго слоя чрезъ x_1 ; тѣ же величины для объема полки — чрезъ v_2 и x_2 .

$$\text{Тогда } x = \frac{v_1 \cdot x_1 + v_2 \cdot x_2}{v}.$$

При приведенныхъ выше размѣрахъ балки № 10 получимъ:

$$v_1 = \frac{750 \times 10 \times 0,45}{2} = 1.687$$

$$x_1 = \frac{2 \times 10}{3} = 6,6 \text{ сант.}$$

$$v_2 = 750 \times 5 \times 0,68 = 2.550$$

$$x_2 = 10 - \frac{\delta}{2} = 10 - 0,34 = 9,66 \text{ сант.}$$

$$v = T_1 = T_2 = 15.000.$$

$$\text{Поэтому } x = \frac{(1.687 \times 6,6 + 2.550 \times 9,66) \times 3,74}{15.000} = 8,92 \text{ сант.}$$

$$M_2 = T_2 \cdot x = 15.000 \times 8,92 = 133.800 \text{ кил.-санти.}$$

Слѣдовательно

$$M = \frac{p \cdot l^2}{8} = \frac{773 \cdot l^2}{8 \times 1.000} = 100.000 + 133.800 = 233.800 \text{ кил.-санти.}$$

$$l = \sqrt{\frac{233.800 \times 8 \times 1.000}{773}} = 492 \text{ санти.} = 4,92 \text{ метра.}$$

Изъ приведеннаго примѣра видно также, что, пользуясь тѣми же 4 уравненіями, можно по данному пролету, высотѣ покрытія и предѣльнымъ напряженіямъ опредѣлить изъ четвертаго уравненія $\left(M = \frac{p l^2}{8} = W\right)$ полную равномерную нагрузку; высоту же балки, толщину бетона и разстояніе между балками очень легко получить изъ первыхъ трехъ уравненій.

Изъ треугольника Onn_1 , фиг. 37, выражающаго распредѣленіе напряженій внутреннихъ растягивающихъ силъ для желѣзной балки, видно, что верхняя полка подвергается ничтожнымъ растягивающимъ усиліямъ. Поэтому для сбереженія желѣза выгоднѣе примѣнить однотавровыя балки, фиг. 40, хотя въ этомъ случаѣ связь между бетономъ и балкой будетъ меньше, такъ какъ уменьшится площадь прикосновенія между бетономъ и желѣзомъ.

Если допустить, что нейтральный слѣй (OO) при надлежащемъ распредѣленіи желѣза касается ребра однотавровой балки, фиг. 40, то расчетъ покрытія будетъ основанъ на тѣхъ же простыхъ четырехъ уравненіяхъ, какъ и при двутавровыхъ балкахъ.

Но даже при употребленіи однотавровыхъ балокъ, уменьшающихъ количество желѣза почти на $\frac{1}{3}$, ребристое покрытие требуетъ значительно больше желѣза, чѣмъ плоское покрытие системы Коенеп'а, и поэтому въ настоящее время оно мало примѣняется на практикѣ.

При равномерно распредѣленной нагрузкѣ, вызывающей наибольшія напряженія въ среднемъ сѣченіи и наименьшія — надъ опорами, является значительный излишекъ желѣза, рассчитаннаго по наибольшимъ напряженіямъ и расположеннаго равномерно по всей длинѣ покрытія.

Этотъ существенный недостатокъ описаннаго покрытія при употребленіи однотавроваго желѣза, фиг. 40 и при незначительныхъ пролетахъ является не столь ощутительнымъ; поэтому такое покрытие можно примѣнить въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣются поперечныя поддерживающія балки или стѣны, близко расположенныя другъ отъ друга.

Результаты испытаній.

Пробной равномерно распредѣленной нагрузкѣ до полного обрушенія подвергалось ребристое покрытие при пролетѣ $l = 4,8$ метра, толщинѣ бетона $c = 5$ сант., высотѣ балокъ $h = 8$ сант., разстояніи между ними $b = 25$ сант., площади поперечнаго сѣченія двутавровой балки № 8 $F_1 = 7,6$ кв. сант.

Собственный вѣсъ покрытія

$$q_1 = 175 \text{ кил. на кв. метр.}$$

Разсчетная, допускаемая нагрузка 325 кил. на кв. метр.
Обрушение послѣдовало при полезной нагрузкѣ 2.565 килогр. на кв. метр.

Прогибы измѣрялись посрединѣ пролета особымъ рычажнымъ приборомъ. Величина полезныхъ нагрузокъ q и соотвѣтствующие прогибы δ приведены въ слѣдующей таблицѣ:

q кил. на кв. метр.	δ мм.
250	2
500	5
750	7
1.000	13
1 250	17
1.500	21
1.750	26
2.000	35
2.250	51
2.500	73
2.565	89

Въ фиг. 39 представлена діаграмма, выражающая зависимость между нагрузками q и соотвѣтствующими прогибами. По вертикальной оси отложены прогибы, полученные при испытаніяхъ; по горизонтальной оси—равномѣрно распределенныя нагрузки q .

Діаграмма показываетъ, что пропорціональность между прогибами и нагрузками можно принять до $q = 750$ килогр. на кв. метр., т. е. допускаемая нагрузка (разсчетная) $q_1 = 325$ килогр. на кв. метр., составляетъ меньше, $1/2$ этой предѣльной нагрузки. Кривая OAB мало отличается отъ прямой OB , крайней точкѣ которой B соотвѣтствуетъ нагрузка $q = 1.500$ кил. на кв. метр.

Допускаемая нагрузка въ $\frac{1.500}{325} = 4,6$ раза меньше этой наибольшей нагрузки. Отсюда, вообще, можно заключить,

что покрытие обладает значительною упругостью, предѣлъ которой превышает допускаемую нагрузку отъ 2 до 4 разъ.

Въ предъидущихъ расчетахъ желѣзо-бетонныхъ покрытій были приняты слѣдующіе предѣлы прочнаго сопротивленія:

- 1) для бетона состава 1 : 3 при сжатіи 30 кил. на кв. сант.
- 2) » » » » » растяженіи 33 кил. на кв. сант.
- 3) для желѣза при растяженіи 750 кил. на кв. сант.

Между тѣмъ опытъ показываетъ, что въ существующихъ бетонныхъ мостахъ возможно допустить напряженіе 50 кил. на кв. сант., такъ какъ нормальные образцы изъ хорошаго цемента обладаютъ черезъ 6 мѣсяцевъ по изготовленіи временнымъ сопротивленіемъ раздробленію 350 кил. на кв. сант. Принимая поэтому за предѣлъ прочнаго сопротивленія сжатію 50 кил. на кв. сант., получимъ 7-й запасъ прочности.

Точно также для литаго желѣза, при отсутствіи ударовъ или сильныхъ сотрясеній, вполне безопасно можно принять 1.000 кил. на кв. сант. и даже 1.500 кил. на кв. сант.

4) Какъ примѣръ широкаго и смѣлаго примѣненія желѣза и бетона можно привести складъ для солода, устроенный въ Milwaukee (С. Америка) для Hansen Hop и С^о и описанный въ »Cement and Engineering News»; Chicago; октябрь 1896; № 4 и февраль 1897 г. № 2.

Поперечный разрѣзъ склада показанъ въ фиг. 43. Зданіе состоитъ изъ 8 этажей, изъ которыхъ 7 нижнихъ высотой 2,62 метра а верхній—2,35 метра. Боковыя стѣны, всѣ междуэтажныя покрытія и потолокъ верхняго этажа сдѣланы изъ бетона, усиленнаго желѣзомъ въ междуэтажныхъ покрытіяхъ. Поперечный разрѣзъ междуэтажнаго покрытія и фасадъ показаны въ фиг. 41 и 42.

Главные данныя слѣдующія:

Площадь междуэтажныхъ желѣзо-бетонныхъ покрытій	9.720 кв. метр.
---	-----------------

Площадь плоскаго бетоннаго потолка толщиною 5 сант.	2.000 » »
--	-----------

Общая площадь бетонныхъ стѣнъ . .	830 » »
-----------------------------------	---------

Пролетъ для междуэтажнаго, покрытія
и потолка 5,08 метр.

Безопасная нагрузка для по-
крытій 980 кил. на кв. метръ

Вѣсъ потолка. 122 » » » »

Допускаемая нагрузка. 170 » » » »

Опутная нагрузка. 735 » » » »

Ширина зданія, фиг. 43, 27,22 метр. Плоскія покры-
тія поддерживаются поперечными двуторовыми балками,
фиг. 42 и 43, разстояніе между которыми равно 5,08 метра;
поперечныя балки лежатъ на лицевыхъ стѣнахъ и двухъ
рядахъ желѣзныхъ колоннъ; разстояніе отъ стѣнъ до колоннъ—
8,93 метр.

Всѣ металлическія части покрыты слоемъ цементнаго
раствора толщиною 3—5 сант., для полученія полной огне-
упорности.

Междуэтажное плоское покрытіе, представленное въ
разрѣзѣ въ фиг. 41 и въ фасадѣ въ фиг. 42, можетъ быть
названо также ребристымъ; въ Америкѣ оно извѣстно подъ
именемъ «Ransome's System».

Толщина бетоннаго покрытія 5 сант. На взаимномъ раз-
стояніи 69 сант. сдѣланы бетонные приливы-ребра высо-
тою 23 сант., шириною 7,6 сант. Въ нижней ихъ части
расположены скрученныя полосы желѣза квадратнаго сѣче-
нія, площадью 6,5 кв. сант. (1 кв. дюймъ); полосы эти ле-
жатъ на нижнихъ полкахъ поперечныхъ двутавровыхъ ба-
локъ. Такимъ образомъ, при незначительной толщинѣ по-
крытія, ребра придаютъ ему требуемую жесткость и вмѣстѣ
съ тѣмъ позволяютъ расположить желѣзо возможно ниже
отъ нейтральнаго слоя, и слѣдовательно подвергнуть его
исключительно растяженію. Ребра, усиленные желѣзомъ,
представляютъ какъ-бы продольныя желѣзо-бетонныя балки
значительной высоты, а бетонное покрытіе—плиты, связанныя
въ одно вполне монолитное покрытіе. Отличительною чер-
той этой системы, кромѣ указанной жесткости, монолитности,
огнеупорности, является малый вѣсъ, простота устройства и

гигиеничность. Вѣсь 1 кв. метра покрытія безъ пола приблизительно выразится такъ:

вѣсь бетона

$$\frac{100}{69} \times (69,5 + 23 \times 7,6) \times 0,2 = 217,5 \text{ килогр.}$$

вѣсь желѣза. $500 \times 6,4 \times 7,8 = 25 \text{ килогр.}$

Всего 242,5 килогр.

Нагрузка, дѣйствию которой подвергается покрытіе, $p = 980$ кил. на кв. сант., т. е. вѣсь покрытія составляетъ меньше $\frac{1}{4}$ полезной нагрузки, что объясняется выгоднымъ распредѣленіемъ матеріаловъ и значительными напряженіями, которыя можно допустить при тщательной работѣ и доброкачественныхъ матеріалахъ. (Разсчетъ см. ниже).

Для устройства покрытія, къ нижнимъ полкамъ поперечныхъ балокъ подвѣшиваются помощью загнутыхъ болтовъ, фиг. 45, толстыя доски *A*. Между нижними полками и досками *A* располагають у болтовъ небольшіе бетонные камни *B*, для того чтобы получить промежутокъ, позволяющій бетону проникнуть при трамбованіи подъ нижнюю полку балки и предохранить ее отъ непосредственнаго дѣйствія огня.

На подвѣшенныя доски *A*, фиг. 45, укладываются разборчатая досчатая формы *C*, соединяющіяся между собой по діагоналямъ *D*. При такомъ устройствѣ формы имѣютъ малый вѣсь и легко убираются. Длина ихъ рассчитана такъ, чтобы получился достаточной толщины слой бетона, покрывающій ребра поперечныхъ балокъ. Такимъ образомъ, при обыкновенномъ трамбованіи бетона все покрытіе отливается цѣликомъ весьма просто и не требуется дополнительныхъ работъ для штукатурки поперечныхъ балокъ. Когда бетонъ отвердѣетъ, формы *C* поддерживаются временными подпорками, доски *A* постепенно отвинчиваются, и формы убираются. Для большей связи съ бетономъ реберъ желѣзныя полосы нѣсколько скручены, фиг. 42, такъ что представляютъ собою винтовыя поверхности. Концы полосъ укладываются на нижнихъ полкахъ поперечныхъ балокъ.

При полной монолитности и прочной связи со стѣнами, покрытіе является непроницаемымъ для воздуха и воды:

верхняя поверхность его представляет готовый бетонный полъ и прочное плоское основаніе для половъ другого типа.

Разсчетъ покрытія.

Допустимъ, что требуется опредѣлить величину полной равномерно распределенной нагрузки p для покрытія, представленнаго въ фиг. 41 и 42. Высота ребра $H = 23$ сант., ширина $b_1 = 7,6$ сант., толщина плиты $h = 5$ сант., разстояніе между осями реберъ $l_1 = 69$ сант., поперечное сѣченіе желѣзной полосы $F = 6,4$ кв. сант., разстояніе отъ ея центра до плиты— $d = 19$ сант. Разстояніе между поперечными балками $l = 5$ метр.

Прочное сопротивленіе бетона сжатію 37 кил. на кв. сант., растяженію—5 кил. на кв. сант.; для желѣза прочное сопротивленіе растяженію—1.500 кил. на кв. сант.

Покрытіе можно разсматривать какъ-бы состоящимъ изъ плитъ AB , фиг. 46, съ закрѣпленными концами и поддерживающихъ ихъ реберъ A и B .

Подъ дѣйствіемъ равномерно распределенной нагрузки плиты стремятся прогнуться въ плоскости перпендикулярной къ оси реберъ; одновременно съ этимъ каждое ребро съ соотвѣтствующимъ участкомъ плиты шириною 69 сант., фиг. 44, изгибается въ плоскости, проходящей черезъ ось ребра.

Поэтому разсчетъ покрытія сводится:

1) къ разсчету плитъ съ закрѣпленными концами, принимая за пролетъ разстояніе между смежными ребрами $l_1 = 61,4$ сант., фиг. 46, и

2) къ разсчету ребра и плиты шириною 69 сант., фиг. 47, разсматривая ихъ какъ одну цѣлую желѣзо-бетонную балку.

1) Разсчетъ бетонной плиты AB , фиг. 46, можно сдѣлать на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Наибольшія напряженія получатся въ сѣченіяхъ m опоръ, гдѣ наибольшій изгибающій моментъ M выразится черезъ $M = \frac{pl^2}{12}$.

Допустимъ, что при нагрузкѣ p кил. на кв. сант. плоское сѣченіе mn приметъ положеніе m_1n_1 , фиг. 47, и наибольшія измѣненія длины верхнихъ и нижнихъ частицъ бетона выразятся чрезъ

$$mm_1 = e_1 \quad \text{и} \quad nn_1 = e_2.$$

Если обозначимъ чрезъ x разстояніе отъ верхней поверхности плиты до нейтральнаго слоя, предѣльныя напряженія, соотвѣтствующія e_1 и e_2 , — чрезъ R_1 и R_2 , а коэффициенты упругости чрезъ E_1 и E_2 то, какъ было выведено выше (см. результаты опытовъ надъ плитами),

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{x}{5-x} : \quad \text{гдѣ}$$

5 сант. — толщина плиты.

$$R_1 = E_1 \cdot e_1 \quad \text{и} \quad R_2 = E_2 \cdot e_2$$

$$R_1 \cdot x = R_2 (5 - x)$$

$$E_1 e_1 \cdot x = E_2 e_2 (5 - x)$$

$$\frac{x}{5-x} = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} = \sqrt{\frac{1}{10}} = \frac{1}{3,16}$$

Изъ этого уравненія, опредѣляющаго положеніе нейтральнаго слоя, получимъ

$$5 - x = 3,16 x$$

$$4,16 x = 5$$

$$x = \frac{5}{4,16} = 1,2 \text{ сант.}$$

Если предѣлъ прочнаго сопротивленія бетона растяженію $R_2 = 5$ кил. на кв. сант., то наибольшее значеніе равнодѣйствующей T_2 всѣхъ внутреннихъ растягивающихъ силъ выразится, фиг. 48, при ширинѣ плиты $b = 100$ сант. чрезъ

$$T_2 = \frac{5 \times 3,8 \times 100}{2} = 950 \text{ килогр.}$$

Наибольшее возможное напряженіе въ сжатыхъ частицахъ бетона R_1 получится изъ равенства $T_1 = T_2$, или

$$\frac{R_1 \times 1,2 \times 100}{2} = 950 \text{ килогр.}$$

$$R_1 = \frac{950 \times 2}{100 \times 1,2} = 15,8 \text{ кил. на кв. сант.}$$

Зная такимъ образомъ величины равнодѣйствующихъ T_1 и T_2 и разстоянія ихъ отъ нейтральнаго слоя O , равныя

$$OK_1 = \frac{2 \times 1,2}{3} \text{ и } OK_2 = \frac{2 \times 3,8}{3},$$

получимъ моментъ сопротивленія плиты въ сѣченіи m :

$$W = \frac{2 \times 950}{3} (1,2 + 3,8) = 3.166,6 \text{ кил.-сант.}$$

Приравнявъ его моменту внѣшнихъ силъ для того же сѣченія, получимъ:

$$M = \frac{p l^2}{12} = \frac{p \times 61,4^2}{100 \times 12} = 3.166,6 \text{ кил.-сант., или}$$

$$p = \frac{3166,6 \times 100 \times 12}{3769,9} = 1.008 \text{ кил. на кв. сант.}$$

2) Выдѣлимъ часть покрытія, соотвѣтствующую одному ребру, фиг. 49. Если разсматривать ее какъ одну желѣзобетонную балку, то общія уравненія, на основаніи которыхъ можно рѣшать всѣ вопросы, будутъ тѣ же, какъ и для предъидущихъ желѣзобетонныхъ покрытій.

Если предположить, что при допускаемыхъ на практикѣ нагрузкахъ среднее сѣченіе m , фиг. 50, остается плоскимъ и выражается сѣченіемъ m, n_1 , то разстояніе x отъ нейтральнаго слоя до верхнихъ частицъ бетона и предѣльные напряженія R_2 — для желѣза и R_1 — для бетона будутъ связаны уравненіемъ

$$1) \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{25} \frac{x}{H-x}, \text{ гдѣ}$$

H — разстояніе отъ центра поперечнаго сѣченія желѣза до верхнихъ частицъ, и $\frac{1}{25} = \frac{E_1}{E_2}$; т. е. выражаетъ отношеніе коэффиціентовъ упругости бетона при сжатіи и желѣза при растяженіи.

Изъ статическаго условія равновѣсія, требующаго, чтобы сумма горизонтальныхъ проекцій всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на часть балки выдѣленную сѣченіемъ m , фиг. 44 и 51, равнялась нулю, получимъ

$$2) T_1 - T_2 = 0 \text{ или } T_1 = T_2, \text{ гдѣ}$$

T_1 — равнодѣйствующая всѣхъ внутреннихъ сжимающихъ силъ для частицъ выше нейтральнаго слоя,

T_2 — равнодѣйствующая всѣхъ растягивающихъ силъ для желѣза.

Обѣ эти равнодѣйствующія зависятъ:

- 1) отъ допускаемыхъ предѣльныхъ напряженій R_1 и R_2 ,
- 2) положенія нейтральнаго слоя, т. е. отъ разстоянія x , и
- 3) отъ поперечныхъ размѣровъ желѣза и бетона, подверженнаго сжатію.

Наконецъ, второе условіе равновѣсія, требующее, чтобы сумма моментовъ равнодѣйствующихъ внутреннихъ силъ T_1 и T_2 относительно центра O , лежащаго на нейтральной оси, равнялась моменту внѣшнихъ силъ относительно той же точки, выразится

$$3) M = W.$$

гдѣ W зависитъ отъ x , R_1 , R_2 и поперечныхъ размѣровъ сѣченія m .

Такимъ образомъ, пользуясь этими тремя уравненіями, всегда можно опредѣлить 3 неизвѣстныхъ при остальныхъ данныхъ величинахъ.

Для примѣра положимъ, что требуется опредѣлить для покрытія, фиг. 41, при данныхъ выше размѣрахъ (при пролетѣ $l = 5$ метр. и допускаемомъ напряженіи для желѣза $R_2 = 1.500$ кил. на кв. сант.), слѣдующія величины:

1) разстояніе x отъ нейтральнаго слоя до верхнихъ частицъ,

2) наибольшую допускаемую равномерно распределенную нагрузку p кил. на кв. метръ и

3) повѣрить прочность покрытія, принимая для бетона при сжатіи наибольшее напряженіе $R_1 = 37$ кил. на кв. сант.

Въ данномъ случаѣ, фиг. 49, разстояніе H отъ центра желѣзной полосы до верхнихъ частицъ бетона равно

$$H = 19 + 5 = 24 \text{ сант.}$$

Поэтому уравнение (1) обратится въ

$$\frac{37}{1.500} = \frac{1}{25} \frac{x}{24-x}, \text{ или}$$

$$60 x = 888 - 37 x$$

$$x = \frac{888}{97} = 9,15 \text{ сант.}$$

Наибольшее возможное значеніе равнодѣйствующей T_2 всѣхъ внутреннихъ растягивающихъ силъ для желѣзной полосы при ея поперечномъ сѣченіи $F_1 = 6,4$ кв. сант. выразится такъ:

$$T_2 = R_2 \cdot F = 1.500 \times 6,4 = 9.600 \text{ кил.}$$

Слѣдовательно и равнодѣйствующая всѣхъ внутреннихъ сжимающихъ силъ для бетона $T_1 = T_2$, при допускаемомъ напряженіи $R_1 = 37$ кил. на кв. сант. не должна быть больше 9.600 кил.

При данномъ поперечномъ сѣченіи покрытія, фиг. 51, равнодѣйствующая T_1 выразится объемомъ v , въ которомъ наибольшее ребро $mm_1 = 37$, т. е. допускаемому напряженію, а высота $mO = v = 9,15$ сант., фиг. 51 и 52, и при этомъ T_1 пройдетъ чрезъ центръ тяжести этого объема.

Если назовемъ чрезъ R_0 напряженіе въ частицахъ бетона, лежащихъ на нижней поверхности плиты, фиг. 51 и 52, то объемъ v выразится, фиг. 52,

$$v = T_1 = 69 \times 5 \frac{37 + R_0}{2} + \frac{R_0 \cdot 4,15 \times 7,6}{2}.$$

Изъ фиг. 52 видно, что

$$\frac{R_0}{R_1} = \frac{R_0}{37} = \frac{4,15}{9,15}; \text{ отсюда}$$

$$R_0 = \frac{37 \times 4,15}{9,15} = 16,8 \text{ килогр.}$$

$$\begin{aligned} \text{Поэтому } T_1 &= 69 \times 5 \frac{37 + 16,8}{2} = \frac{16,8 \times 4,15 \times 7,6}{2} = \\ &= 9.280,5 + 264,7 = 9.545,2 \text{ килогр.} \end{aligned}$$

Такъ какъ $T_1 = 9.545,2$ весьма мало отличается отъ $T_2 = 9.600$ килогр., то размѣры и форма бетонной части покрытія соотвѣтствуютъ принятому поперечному сѣченію

жельза и его расположенію, требуемая прочность покрытія обезпечена при наивыгоднѣйшемъ примѣненіи обоихъ матеріаловъ.

Принимая за предѣльное напряженіе для бетона $R_1 = 37$ килогр. на кв. сант., изъ равенства $T_1 = T_2 = R_2 \times 6,4$ получилъ $9.543,2 = R_2 \times 6,4$.

$$R_2 = \frac{9543,2}{6,4} = 1.491,4 \text{ килогр. на кв. сант., т. е.}$$

среднее напряженіе въ желѣзной полосѣ получится 1.491,4 килогр., слѣдовательно не превыситъ допускаемаго наибольшаго напряженія $R_2 = 1.500$ килогр. на кв. сант.

Предѣльная величина допускаемой равномерно распределенной нагрузки опредѣлится изъ 3-го уравненія $M = \frac{p l^2}{8} = W$.

Можно принять, что равнодѣйствующая растягивающихъ силъ R_2 пройдетъ чрезъ центръ поперечнаго сѣченія желѣзной полосы, фиг. 51; равнодѣйствующая же R_1 пройдетъ чрезъ центръ тяжести объема v , фиг. 52.

Назовемъ: 1) разстояніе отъ этого центра до нейтральнаго слоя чрезъ x_1 ,

2) объемъ усѣченной призмы, фиг. 52, выражающей равнодѣйствующую сжимающихъ силъ въ плитѣ покрытія, чрезъ $v_2 = 69 \times 5 \cdot \frac{37 + R_0}{2} = 9.280,5$.

3) объемъ треугольной призмы, выражающій равнодѣйствующую тѣхъ же силъ для ребра.—чрезъ $v_3 = \frac{R_0 \times 4,15 \times 7,6}{2} = 264,7$, и

4) чрезъ x_2 и x_3 —соотвѣтствующія разстоянія отъ центровъ тяжести этихъ призмъ до нейтральнаго слоя.

$$\text{Тогда } x_1 = \frac{v_2 \cdot x_2 + v_3 \cdot x_3}{v}$$

При этомъ x_2 , какъ разстояніе до центра тяжести трапеціи mm_1 , фиг. 52, параллельныя стороны которой равны: $mm = 37$, $R_0 = 16,8$, выразится такъ:

$$x_2 = 9,15 - \frac{37 \times 2 \times 16,8}{37 + 16,8} \cdot \frac{5}{3} = 9,15 - 2,18 = 6,9 \text{ сант.}$$

(5 = высотѣ трапеціи).

Величина же $\dot{x}_3 = \frac{2 \times 4,15}{3} = 2,77$ сант., фиг. 51.

Поэтому $x_1 = \frac{9280,5 \times 6,97 + 264,7 \times 2,77}{9545,2} = 6,96$ сант.

Подставляя въ уравненіе (3), получимъ

$$\frac{p^2}{8} = \frac{p \cdot 5 \times 500,69}{8 \times 100} - 9.545,2 (6,96 + 24 - 9,15) = 208.180,8$$

килогр.-санти.

Отсюда

$$p = \frac{208180,8 \times 8}{25 \times 69} = 968,3 \text{ килогр. на кв. сант.}$$

При собственномъ вѣсѣ покрытія $q_1 = 245,2$ килогр. допускаемая полезная нагрузка будетъ $q = 968,3 - 245,2 = 723,1$ килогр. на кв. метръ, т. е. почти въ 3 раза больше вѣса покрытія.

Такъ какъ при расчетѣ не принято во вниманіе сопротивленіе бетона растяженію, то прочность покрытія въ дѣйствительности будетъ нѣсколько больше расчетной.

Изъ этого же расчета видно, что равнодѣйствующая всѣхъ внутреннихъ сжимающихъ силъ для ребра $v_3 = 264,7$ кил. мала сравнительно съ равнодѣйствующей тѣхъ же силъ для плиты $v_2 = 9.280,5$ кил.

Поэтому для простоты расчета можно принять, что равнодѣйствующая T_1 всѣхъ внутреннихъ сжимающихъ силъ для бетона выразится объемомъ параллелоипеда, основаніе котораго равно поперечному сѣченію плиты, фиг. 52, а высота нѣкоторому среднему напряженію бетона R_0 .

Тогда получимъ

$$T_1 = 69 \times 5 \times R_0 = T_2 = 9.600 \text{ кил.,}$$

гдѣ T_2 выражаетъ наибольшее допускаемое значеніе равнодѣйствующей всѣхъ растягивающихъ силъ для желѣза при предѣльномъ напряженіи $R_1 = 1.500$ кил. на кв. сант.

Изъ предъидущаго уравненія получимъ среднюю величину для напряженія бетона

$$R_0 = \frac{9.600}{69,5} = 28 \text{ кил. на кв. сант.}$$

При сдѣланномъ предположеніи T_1 пройдетъ черезъ центръ

тяжести параллелоипеда, т. е. разстояние отъ T_1 до центра желѣзной полосы выразится

$$24 - 2,5 = 21,5 \text{ сант.}$$

Поэтому, фиг. 51, моментъ сопротивленія

$$W = 9.600 \times 21,5 = 206.400 \text{ кил.-сант.}$$

Приравнявъ его моменту внѣшнихъ силъ

$$\frac{p l^2}{8} = \frac{p \times 5 \times 500 \times 69}{8 \times 101} = 206.400,$$

получимъ искомую равномерную распределенную нагрузку:

$$p = \frac{206400 \times 8 \times 100}{5 \times 500 \times 69} = 957,2 \text{ кил. на кв. сант.}$$

Въ предъидущемъ, болѣе точномъ разсчетѣ было получено $p = 968,3$ кил. на кв. сант.

Эта разница $968,3 - 957,2 = 11,1$ кил. на кв. сант. не имѣетъ практическаго значенія, тѣмъ болѣе что въ обоихъ случаяхъ не принято во вниманіе сопротивленіе бетона растяженію.

Изъ всѣхъ приведенныхъ способовъ разсчета желѣзо-бетонныхъ покрытій видно, что есть полная возможность рѣшить всѣ вопросы, относящіеся къ ихъ разсчету, на основаніи указанныхъ выше допущеній и уравненій, выражающихъ условія статическаго равновѣсія между внутренними и внѣшними силами.

Исходными данными для разсчета будутъ служить величины допускаемыхъ напряженій для бетона и желѣза, въ зависимости отъ качествъ этихъ матеріаловъ, тщательности работы требуемаго запаса прочности и пр.

По требованіямъ «Königliche Baupolizei» (Berlin) для бетона въ покрытіяхъ допускается напряженіе 30 кил. на кв. сант. при сжатіи и 3 кил. на кв. сант. при растяженіи; для желѣза же при растяженіи 750 кил. на кв. сант., что составляетъ 5-й запасъ прочности.

Въ послѣднемъ же типѣ ребристаго покрытія фиг. 41 — 52, при общей равномерной распределенной нагрузкѣ около 950 кил. на кв. сант., надо допустить для

жельза напряженіе 1.500 кил. на кв. сант. и для бетона при сжатіи—37 кил. на кв. сант.

Кромѣ того, при высотѣ ребра, фиг. 49, равной 23 сант., должны получиться у опоръ значительныя разслаивающія внутреннія силы.

Если возьмемъ сѣченіе mn , фиг. 53, въ разстояніи 1 сант. отъ опоры A ребра, то напряженіе разслаивающей силы можно опредѣлить на основаніи слѣдующихъ соображеній:

Реакція опоры A при пролетѣ $l=5$ метр., при ширинѣ покрытія соотвѣтствующей ребру $b=69$ сант., равномерно распределенной нагрузкѣ $p=950$ кил. на кв. сант., выразится

$$R_A = \frac{pl \cdot b}{2} = \frac{950 \times 5 \times 0,69}{2} = 1.638,7 \text{ кил.}$$

Обозначимъ равнодѣйствующія всѣхъ сжимающихъ и растягивающихъ внутреннихъ силъ, являющихся въ сѣченіи mn , фиг. 54, чрезъ T_1 и T_2 . Разстояніе между точками приложеній этихъ двухъ равныхъ силъ будетъ зависѣть отъ положенія нейтральнаго слоя, величины нагрузки, упругихъ свойствъ матеріаловъ; но во всякомъ случаѣ оно не можетъ быть больше разстоянія K_1K_2 , фиг. 54, между центромъ сѣченія жельзной полосы и центромъ поперечнаго сѣченія плиты покрытія.

При данныхъ размѣрахъ

$$K_1K_2 = 19 \cdot 2,5 = 21,5 \text{ сант.}$$

Кромѣ реакціи опоры A и равнодѣйствующихъ T_1 и T_2 , на выдѣленный элементъ $amnb$ длиною 1 сант. будетъ дѣйствовать данная нагрузка, составляющая

$$p = \frac{950 \times 69}{100 \times 100} = 6,5 \text{ кил.}$$

Разстояніе отъ этой силы до опоры A равно 0,5 сант.

Для равновѣсія выдѣленнаго элемента $amnb$ необходимо, чтобы сумма моментовъ всѣхъ этихъ силъ относительно любой точки O сѣченія mn , фиг. 54, равнялась нулю, т. е.

$$1.648,7 \times 1 + 6,5 \cdot 0,5 - T_1 \times 21,5 = 0.$$

Отсюда

$$T_1 = \frac{1638,7 + 6,5 \times 0,5}{21,5} = 76,4 \text{ кил.}$$

Равныя силы T_1 и T_2 , направленные въ обратныя стороны, стремятся произвести разслоеніе вдоль нейтральнаго слоя.

При ширинѣ ребра $b_1 = 7,6$ сант. напряженіе разслаивающей силы $T_1 = T_2$ выразится

$$R_s = \frac{76,4}{7,6} = 10,05 \text{ кил. на кв. сант.}$$

Такое значительное напряженіе можно допустить только въ исключительныхъ случаяхъ для бетона прекрасныхъ качествъ. Если принять даже 5 кил. на кв. сант., то наименьшая толщина ребра b_1 у нейтральнаго слоя надъ опорами опредѣлится изъ уравненія

$$T_1 = 76,4 = 5 \cdot b_1$$
$$b_1 = \frac{76,4}{5} = 15,3 \text{ сант.,}$$

т. е. вдвое больше принятой.

По мѣрѣ приближенія къ срединѣ пролета, величина разслаивающей силы T_1 , а слѣдовательно и толщина ребра b_1 , будутъ уменьшаться. Поэтому при постоянной толщинѣ ребра b_1 получается излишній расходъ бетона, увеличивающій вѣсъ покрытія.

Болѣе удачное распредѣленіе матеріаловъ сдѣлано въ слѣдующемъ ребристомъ покрытіи, предложенномъ профессоромъ Möller'омъ.

5) Продольное и поперечное сѣченія его представлены въ фиг. 55 и 56. Общая идея устройства такая же какъ въ предъидущемъ покрытіи. Желѣзо-бетонныя ребра служатъ балками для поддержки плитъ, перекрывающихъ промежутки между ребрами. Широкія полосы желѣза, фиг. 55, 56 и 57, расположены по вогнутой кривой и ограничиваютъ ребро снизу при наибольшемъ прогибѣ въ среднемъ сѣченіи; надъ опорами концы полосъ закрѣпляются въ плитахъ помощью приклепаннаго углового желѣза, фиг. 55, 57.

При такомъ устройствѣ желѣзо реберъ подвергается исключительно растяженію и служитъ какъ-бы струной въ подпружной системѣ; бетонъ же ребра и отчасти плитъ

работаетъ на сжатіе. Наибольшій изгибающій моментъ при равномерно распределенной нагрузкѣ получится въ среднемъ сѣченіи, въ которомъ стрѣла прогиба желѣза наибольшая. Надъ опорами же высота ребра равна нулю; поэтому расслаивающимъ силамъ будетъ сопротивляться плита покрытія по всей его ширинѣ, вслѣдствіе чего въ данномъ случаѣ не можетъ получиться такое значительное напряженіе расслаивающихъ силъ, какъ въ предъидущемъ типѣ при постоянной высотѣ ребра. Для лучшей связи между желѣзомъ и бетономъ по концамъ и посрединѣ полосы приклепывается угловое желѣзо.

Для предохраненія желѣза отъ ржавчины и разрушительнаго дѣйствія огня, полосы охватываются по всей длинѣ тонкою желѣзною сѣткой и покрываются цементною штукатуркой, подобно тому какъ указано выше для двутавровыхъ балокъ.

Существеннымъ преимуществомъ этого типа покрытія является вполнѣ раціональное примѣненіе матеріаловъ, благодаря чему количество желѣза доведено до minimum'a.

Къ невыгодамъ слѣдуетъ отнести:

- 1) значительная высота покрытія;
- 2) кузнечныя работы для прикрѣпленія углового желѣза.

Подобно предъидущему типу,

3) ребра подвержены значительно большимъ напряжениямъ чѣмъ плиты (см. выше); при деформациі плиты стремятся прогнуться въ плоскости перпендикулярной къ плоскости прогиба ребра, фиг. 56; поэтому въ обоихъ типахъ ребристыхъ покрытій можно ожидать появленій трещинъ вдоль ребра;

4) желѣзо расположено неравномѣрно во всей массѣ бетона; поэтому нельзя рассчитывать на значительное сопротивленіе покрытій сотрясеніямъ и ударамъ или сосредоточеннымъ грузамъ;

5) въ жилыхъ помѣщеніяхъ вогнутыя ребра производятъ тяжелое впечатлѣніе. При устройствѣ же прямыхъ реберъ, фиг. 55 (пунктиръ), получится лишній расходъ бетона.

Расчетъ покрытія ничѣмъ не отличается отъ приведеннаго выше для «Ransome's System».

Приклепанное угловое желѣзо, фиг. 55, 57, назначается для надлежащаго закрѣпленія концовъ полосы, такъ чтобы давленіе на 1 кв. сант. бетона не превосходило прочнаго сопротивленія бетона раздробленію. Общее сопротивленіе заклепокъ перерѣзыванію должно равняться сопротивленію полосы разрыву. Въ фиг. 58 представлена деталь соединенія полосъ надъ колонной.

Стоимость покрытія въ Германіи по даннымъ технической конторы «Dreuekhahn und Suphor», при пролетѣ 4,5 метра и равномерно распределенной нагрузкѣ 500 кил. на кв. сант. около 6 рубл. 30 коп. квадратный метръ; собственный вѣсъ покрытія около 230 кил. на кв. сант.

Система инженера Неппебіке'а. (Патентъ).

Въ теченіе послѣднихъ десяти лѣтъ въ Европѣ получила большое распространеніе желѣзо-бетонная система, предложенная инженеромъ Неппебіке'омъ и примѣняемая для устройства междуэтажныхъ покрытій, мостовъ, подпорныхъ стѣнъ, резервуаровъ и проч.

Не вдаваясь въ теоретическое изслѣдованіе, ниже приведены: краткое описаніе устройства плоскихъ междуэтажныхъ покрытій, практическій способъ ихъ расчета, а также выяснены относительныя преимущества въ конструктивномъ отношеніи.

Въ фиг. 59, черт. III, изображенъ перспективный видъ плоскаго покрытія съ показаніемъ распределенія желѣза въ массѣ бетона.

Отличительною чертой системы является отсутствіе желѣзныхъ балокъ, колоннъ и вообще массивныхъ желѣзныхъ частей.

Покрытіе состоитъ, фиг. 59, 60 и 61:

- 1) изъ главныхъ поперечныхъ желѣзо-бетонныхъ балокъ *a*, поддерживаемыхъ опорными стѣнами и желѣзо-бетонными колоннами *c*,
- 2) второстепенныхъ продольныхъ балокъ *b*, и

3) плоскаго желѣзо-бетоннаго покрытія d , заполняющаго промежутки между балками и играющаго роль настила.

Всѣ эти части представляютъ одинъ желѣзо-бетонный массивъ, благодаря надлежащему распредѣленію желѣза въ массѣ бетона, соотвѣтствующему тѣмъ напряженіямъ, которыя являются при нагрузкѣ покрытія.

Въ фиг. 61 приведено продольное сѣченіе подобнаго покрытія, а въ фиг. 60 — поперечное сѣченіе съ показаніемъ распредѣленія желѣзныхъ частей.

Каждая балка, фиг. 59, 60, 61, состоитъ:

1) изъ одной или нѣсколькихъ прямыхъ полосъ желѣза e круглаго поперечнаго сѣченія, расположенныхъ вдоль нижняго ребра балки,

2) изъ такого же числа изогнутыхъ полосъ f , концы которыхъ расположены вдоль верхняго ребра балки, средняя же горизонтальная часть касается соотвѣтствующей прямой полосы, находясь съ нею въ одной вертикальной плоскости,

3) хомутовъ g изъ тонкаго полосоваго желѣза, фиг. 59, 61, 62, охватывающихъ снизу прямыя желѣзныя полосы; длина хомутовъ нѣсколько больше высоты балки, такъ что концы ихъ доходятъ до половины толщины плоскаго покрытія.

Концы всѣхъ полосъ загнуты крюкомъ для лучшей связи съ бетономъ и заходятъ за точки опоры, располагаясь «въ переплетъ».

Всѣ эти металлическія части окружены бетономъ, связывающимъ ихъ въ одну цѣлую желѣзо-бетонную балку.

Плоское покрытіе, перекрывающее промежутки между балками, состоитъ:

1) изъ прямыхъ желѣзныхъ прутьевъ h , расположенныхъ въ направленіи перпендикулярномъ къ балкамъ и разстояніи нѣсколькихъ сантиметровъ (2—3) отъ нижней поверхности,

2) такихъ же желѣзныхъ прутьевъ k , изогнутыхъ по кривой, фиг. 60, вершина которой находится въ одной горизонтальной плоскости съ прямыми прутьями, а концы приближаются подъ балками къ верхней поверхности покрытія, и

3) малыхъ хомутовъ l изъ тонкаго полосоваго желѣза, охватывающихъ прутья.

Бетонъ, окружающій эти части, связываетъ ихъ въ одно цѣлое съ балками.

Концы прутьевъ, равно какъ и хомутовъ, загнуты или раздвоены для болѣе прочной связи съ бетономъ.

Прямые и изогнутые прутья расположены черезъ одинъ (поперемѣнно).

Желѣзо-бетонныя колонны состоятъ:

1) изъ вертикальныхъ толстыхъ желѣзныхъ полосъ круглаго поперечнаго сѣченія, фиг. 59 и 63,

2) накладокъ изъ полосоваго желѣза, фиг. 59, 63, 64, съ двумя отверстіями, соотвѣтствующими діаметру вертикальныхъ прутьевъ и разстоянію между ними. Накладки связываютъ всѣ прутья, препятствуютъ ихъ боковому прогибу и располагаются, фиг. 59, черезъ каждые 50 сант., и

3) бетона, принимающаго на себя давленіе и связывающаго также металлическія части въ одно цѣлое.

Для выясненія раціональности расположенія желѣза въ этой системѣ вполне достаточно представить въ общихъ чертахъ тѣ главныя внутреннія силы, которыя являются въ покрытіи при нагрузкѣ. Подробное же изслѣдованіе этого вопроса и сравненіе теоретическихъ выводовъ съ опытными данными приведены въ сочиненіяхъ P. Planat:

1) *Recherches sur la théorie des ciments armés*, и

2) *Théorie des poutres droites en fer et ciment*.

Внутреннія силы, являющіяся въ нагруженной балкѣ, приводятся въ каждомъ поперечномъ сѣченіи:

1) къ парѣ силъ, вызывающей сжатіе въ частицахъ, расположенныхъ выше нейтральнаго слоя и растяженіе — ниже его,

2) къ усиліямъ разслаивающимъ, сопротивляющимся скользянію вдоль нейтральнаго слоя, и

3) къ вертикальнымъ перерѣзывающимъ усиліямъ.

Въ балкѣ свободно лежащей на двухъ опорахъ *A* и *B*, фиг. 66 и 67, и подверженной дѣйствію равномерно распределенной нагрузки моментъ пары въ любомъ поперечномъ сѣченіи выразится соотвѣтствующею ордонатой нѣкоторой параболы *ACB*, проходящей чрезъ точки опоры *A* и *B*.

Усилия разслаивающія опредѣляются ордонатами линіи OC' , проходящей чрезъ средину балки O и точку C , дающую макс'ое значеніе для сѣченія, проходящаго черезъ опору

Усилия же перерѣзывающія выразятся ордонатами прямыхъ OM и ON , причемъ макс. AM и BN соответствует опорамъ.

Такимъ образомъ, въ среднемъ сѣченіи m , фиг. 66 и 67, при прогибѣ балки появятся въ частицахъ выше нейтральнаго слоя только усилия сжимающія, а въ нижнихъ частицахъ—только растягивающія

По мѣрѣ удаленія отъ средины O , усилия разслаивающія и перерѣзывающія увеличиваются; въ любой частицѣ сѣченія m' , фиг. 66, равнодѣйствующая ихъ R представитъ такъ называемое косое напряженіе, являющееся наиболѣе опаснымъ въ желѣзо-бетонныхъ балкахъ или ребрахъ, имѣющихъ значительную высоту.

Многочисленные опыты показали, что разрушеніе желѣзо-бетонныхъ балокъ, заключающихъ желѣзныя полосы только въблизи нижней поверхности, фиг. 65, начинается всегда съ появленія вертикальныхъ трещинъ у средняго сѣченія снизу (при нагрузкѣ равномерно распределенной или сосредоточенной посрединѣ). При дальнѣйшей нагрузкѣ у нижней поверхности появляются наклонныя трещины, направленные отъ опоръ къ срединѣ, причемъ уголъ наклона трещинъ относительно вертикали увеличивается по мѣрѣ приближенія къ опорамъ. При окончательномъ разрушеніи балокъ всегда наблюдаются трещины, отдѣляющія желѣзо отъ остальной массы бетона.

Появленіе этихъ наклонныхъ и горизонтальныхъ трещинъ вызывается сравнительно слабымъ сопротивленіемъ бетона указаннымъ косымъ и разслаивающимъ напряженіямъ.

Для полученія надлежащаго сопротивленія при значительной высотѣ балокъ инж. Неппебіке примѣнилъ въ своей системѣ хомуты изъ полосоваго желѣза, фиг. 62 и 61, и изогнутыя желѣзныя полосы на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Положимъ, что желѣзная рѣшетчатая балка, представлен-

ная въ фиг. 68, подвержена дѣйствию равномерно распределенной нагрузки. Въ нижнемъ поясѣ ея появятся растягивающія усилія, въ верхнемъ и въ раскосахъ—сжимающія, вертикальныя же части будутъ растянуты. Если предположимъ затѣмъ, что вся эта балка окружена бетономъ, обладающимъ, съ одной стороны, значительною силой сдѣплена съ желѣзомъ, а съ другой—сравнительно большимъ сопротивленіемъ раздробленію, то работу каждого сжатого раскоса *ab*, фиг. 68, можетъ выполнить соотвѣтствующій объемъ бетона *cdef*. Точно также, верхній сжатый поясъ можетъ быть замѣненъ соотвѣтствующимъ объемомъ бетона.

Такимъ образомъ, стремясь извлечь наибольшую выгоду изъ обоихъ матеріаловъ, данную желѣзную балку можно замѣнить балкой желѣзо-бетонной, фиг. 69 и 70, въ которой вся масса желѣза, соотвѣтствующая нижнему поясу и вертикалямъ, подвержена только растяженію, бетонъ же сопротивляется всѣмъ сжимающимъ усиліямъ и въ то же время соединяетъ всѣ эти части въ одно упругое цѣлое, благодаря своей силѣ сдѣплена съ желѣзомъ, устраняющей необходимость склепки желѣзныхъ частей. Проходя сквозь всю толщу балокъ, хомуты противодѣйствуютъ разслоенію, играя роль болтовъ или гвоздей въ составной балкѣ изъ нѣсколькихъ брусевъ или досокъ, фиг. 70.

Этому же разслоенію въ балкѣ системы инж. Непнебічета сопротивляются до нѣкоторой степени изогнутыя полосы *f*, фиг. 61, 69.

Общее поперечное сѣченіе желѣза, расположеннаго у нижней поверхности балки, опредѣляется по наибольшему изгибающему моменту, соотвѣтствующему среднему сѣченію *m*, фиг. 66 и 67. Если все это количество желѣза расположить равномерно вдоль нижняго ребра балки, то во всякомъ сѣченіи *m, n*, фиг. 66, взятомъ между серединой балки и опорой, получится нѣкоторый излишекъ желѣза, такъ какъ изгибающій моментъ уменьшается по мѣрѣ приближенія къ опорамъ.

Примѣняя на практикѣ для простоты конструкціи желѣз-

ныя полосы, можно утилизировать этотъ излишекъ желѣза, располагая часть этихъ полосъ по кривой или ломанной fbf , фиг. 61, 69, приближающейся къ параболѣ, выражающей законъ измѣненія изгибающаго момента при равномерно распределенной нагрузкѣ.

Средняя часть b каждой изогнутой полосы работаетъ исключительно на растяженіе; наклонныя же части f и f , фиг. 61 и 69, пересѣкая подъ нѣкоторымъ угломъ всю толщѣ бетона, подверженную наибольшимъ разслаивающимъ уси-
ліямъ, могутъ оказать значительное сопротивленіе этимъ разслаивающимъ и косымъ напряженіямъ.

Кромѣ того, хомуты и бетонъ, охватывая прямые и изогнутыя полосы, приводятъ всѣ эти части къ неизмѣняемой треугольной системѣ.

Концы изогнутыхъ полосъ, фиг. 61 и 69, расположенныя у верхней поверхности балки, могутъ сопротивляться растяженію, являющемуся въ томъ случаѣ, если балка закрѣплена надъ опорами или когда она представляетъ часть одной неразрѣзной балки.

Понятно, что въ дѣйствительности невозможно точно опредѣлять въ отдѣльности степень сопротивленія изогнутыхъ полосъ и хомутовъ разслаивающимъ и косымъ напряженіямъ. Практика и многочисленные опыты показали, что въ основу расчета можно принять слѣдующія допущенія:

1) изогнутыя полосы принимаютъ на себя половину сопротивленія разслаивающимъ напряженіямъ; число этихъ полосъ равно половинѣ всего числа полосъ, необходимыхъ для сопротивленія растяженію въ опасномъ сѣченіи;

2) хомуты подвержены растяженію и принимаютъ на себя вторую половину сопротивленія разслаивающимъ уси-
ліямъ.

Расчетъ поперечнаго сѣченія балки, а также и желѣзныхъ полосъ, можетъ быть сдѣланъ на основаніи соображеній, приведенныхъ выше, для хомутовъ же можно примѣнить слѣдующій простой способъ.

Наибольшимъ напряженіямъ подверженъ крайній хомутъ

BD , фиг. 71, расположенный надъ опорой. Вообразимъ наклонную желѣзную связь BA , соединяющую точку пересѣченія B перваго хомута съ прямою полосой E и точку пересѣченія A втораго хомута съ нижнею поверхностью покрытія.

Очевидно, что раскосъ AB , фиг. 71, будетъ сжатъ; второй хомутъ AC и часть CB нижней полосы — растянуты, часть же AD покрытія — сжата.

Назначеніе того же раскоса AB можетъ выполнить соотвѣтствующая ему бетонная призма *мпр*, подверженная также сжатію и распредѣляющая напряженія слѣдующимъ образомъ.

На плоскость *mn*, фиг. 71, эта наклонная призма производитъ вертикальное давленіе и горизонтальное, стремящееся произвести скольженіе или скалываніе бетона; сумма работъ этихъ двухъ составляющихъ равна работѣ равнодѣйствующей, т. е. усилюю направленному по AB . Если скалывающее усиліе стремится разъединить смежныя частицы бетона въ плоскости *mn*, фиг. 71, то въ то же время вертикальная слагающая стремится ихъ сблизить, и поэтому ясно, что совмѣстное дѣйствіе этихъ силъ будетъ болѣе благоприятно, чѣмъ дѣйствіе одной скалывающей слагающей, такъ какъ, въ случаѣ дѣйствія вертикальной слагающей, является нѣкоторое треніе, противодѣйствующее всякому перемѣщенію въ горизонтальной плоскости *mn*.

Назовемъ реакцію опоры B , фиг. 71 и 72, чрезъ P , ширину балки — c , разстояніе между первымъ и вторымъ хомутомъ — d , разстояніе отъ центра нижней желѣзной полосы до нижняго ребра покрытія — чрезъ m , скалывающую силу — чрезъ T .

Если пренебrecь сравнительно малымъ вѣсомъ части балки AD между двумя смежными хомутами, то для равновѣсія части AB , выдѣленной сѣченіемъ ab , фиг. 71, необходимо, чтобы было

$$P \cdot d = T \cdot m, \text{ или}$$

$$T = \frac{P \cdot d}{m}.$$

Если принять коэффициент трения для бетона 0,75 и обозначить прочное сопротивление скалыванию чрезъ R , то сила трения, противодействующая передвиженію разъединенныхъ частей, выразится чрезъ

$$T_1 = - 0,75 \cdot P,$$

и, слѣдовательно, уравненіе

$$R \cdot c \cdot d = \frac{P \cdot d}{m} - \frac{3 \cdot P}{4} = P \cdot \frac{4d - 3m}{4m} \dots \dots (1)$$

выразить условіе прочности относительно скалыванія при употребленіи хомутовъ.

Уравненіе (1) можетъ служить для повѣрки принятыхъ размѣровъ балки.

Допустимъ, что разстояніе между смежными хомутами $d = 20$ сант., высота балки до центра желѣзной полосы $m = 0,16$ сант. Прочное сопротивление скалыванію для бетона: $R = 3$ килогр. на кв. сант., реакція опоры $P = 2.000$ килогр.

Необходимая ширина балки c опредѣлится изъ уравненія (1):

$$c = \frac{P}{R \cdot d} \cdot \frac{4d - 3m}{4m}, \text{ или}$$

$$c = \frac{2.000 \times (80 - 48)}{3 \times 20 \times 64} = 16,6 \text{ сант.}$$

Одновременно со скольженіемъ по плоскости mn , фиг. 71, основаніе op призмы стремится скользить вдоль желѣзныхъ прямыхъ полосъ, производя на нихъ также вертикальное давленіе P .

На основаніи многочисленныхъ опытовъ можно принять, что сила сдѣвленія между частицами бетона и желѣза та же какъ между смежными частицами бетона; поэтому условіе прочности выразится подобно предъидущему, т. е. поверхность прикасанія полосъ желѣза къ бетону, при длинѣ ихъ равной op , должна равняться площади $mn = c \cdot d$.

Слѣдовательно, если число полосъ обозначимъ чрезъ n , діаметръ ихъ черезъ δ , то

$$\pi \cdot n \cdot \delta \cdot d = c \cdot d, \text{ или } \pi \cdot n \cdot \delta = c. \quad (2)$$

Наконецъ, хомутъ AC , фиг. 71, подверженъ растяженію равному P . Если обозначимъ чрезъ R_1 прочное сопротивленіе желѣза растяженію, q —поперечное сѣченіе полосы для хомута, то условіе его прочности выразится

$$2 \cdot n \cdot q \cdot R_1 = P, \quad (3)$$

гдѣ n —число хомутовъ, соотвѣтственно числу горизонтальныхъ полосъ.

Если принять въ расчетъ приведенная выше два допущенія относительно роли хомутовъ и изогнутыхъ полосъ, то въ предыдущихъ уравненіяхъ надо ввести $\frac{P}{2}$ вмѣсто P .

Приведенныя уравненія (1), (2) и (3) даютъ возможность опредѣлить размѣры и разстояніе между крайними хомутами, подверженными наибольшимъ напряженіямъ. Эти растягивающія усилія уменьшаются по мѣрѣ приближенія къ срединѣ балки, поэтому и поперечное сѣченіе хомутовъ должно бы измѣняться въ томъ же отношеніи, но на практикѣ выгоднѣе оставлять поперечное сѣченіе хомутовъ постояннымъ, но взаимно этого увеличивать разстояніе между ними.

Хомуты полезно располагать и посрединѣ балки, съ одной стороны, для предупрежденія скалыванія, съ другой,—для лучшей связи балки съ вышележащимъ плоскимъ покрытіемъ, фиг. 72. Для этого хомуты должны доходить до половины толщины покрытія, чѣмъ и опредѣляется ихъ длина.

Наименьшая ширина c балки, фиг. 72 и 71, опредѣляется изъ уравненій (1).

Необходимо, чтобы принятая толщина c допускала расположеніе всѣхъ продольныхъ полосъ желѣза съ такими промежутками, которые обеспечивали бы надлежащую связь съ окружающимъ бетономъ.

Концы балки слѣдуетъ продолжить за опоры, фиг. 71,

на длину BE , равную по крайней мѣрѣ половинѣ разстоянія между крайними хомутами. Въ противномъ случаѣ часть oB можетъ не оказать надлежащаго сопротивленія скалыванію.

При расчетѣ колоннъ незначительной высоты, на практикѣ принимаютъ, что полное сопротивленіе ихъ равно суммѣ сопротивленій бетона и желѣза, допуская для бетона прочное сопротивленіе сжатію 25 килогр. на кв. сант., для желѣза—1.000 килогр. на кв. сант.

Если P полная нагрузка на колонну, S поперечное сѣченіе бетона, то на долю желѣза приходится давленіе $P - 25 \cdot S$; поперечное сѣченіе его $S_1 = \frac{P - 25 \cdot S}{1.000}$.

Сѣченіе это распределяется между четырьмя или большимъ числомъ вертикальныхъ полосъ, связанныхъ накладками, фиг. 59, 63, черезъ каждые 50 сант.

Опасное сѣченіе AB , фиг. 64, накладки рассчитывается на $\frac{1}{8}$ того давленія, которое приходится на одну вертикальную полосу желѣза.

При значительной высотѣ колонны рассчитываются по общепринятымъ формуламъ.

Вообще надо замѣтить, что способы, приведенные выше для расчета желѣзо-бетонныхъ покрытій, не могутъ дать вполне точныхъ результатовъ. Допущенія, принятые въ ихъ основу, даютъ возможность, съ одной стороны, примѣнить самые простые и скорые расчеты, что необходимо для практическихъ цѣлей, а съ другой—служать въ пользу большаго запаса прочности.

По самой сути конструкціи, представляющей сочетаніе двухъ совершенно разнородныхъ матеріаловъ, невозможно охватить и выразить математически работу внутреннихъ силъ каждаго матеріала, взятаго въ отдѣльности, тѣмъ болѣе что съ механической точки зрѣнія бетонъ является на практикѣ матеріаломъ не вполне опредѣленнымъ, измѣняющимъ свои свойства не только въ зависимости отъ качества и количества составныхъ частей, но также отъ степени пе-

ремѣшиванія ихъ, трамбованія, вообще тщательности работы и другихъ неуволимыхъ условій, вліяющихъ на прочность бетона.

Въ виду этой неопредѣленности, нѣкоторые американскіе инженеры не принимаютъ совсѣмъ во вниманіе сопротивленія бетона, а рассчитываютъ и конструируютъ желѣзные части совершенно такъ, какъ въ обыкновенныхъ желѣзныхъ сооруженіяхъ; бетонъ же служитъ только для предохраненія желѣза отъ ржавчины и вліянія высокой температуры.

Въ противоположность этому крайнему взгляду, инженеры другой группы (Tedesco, Coignet) предполагаютъ, что при рациональныхъ конструкціяхъ желѣзо принимаетъ на себя до 60%, а бетонъ до 40% всего сопротивленія, оказываемаго желѣзо-бетонною балкой, благодаря той силѣ сдѣленія цемента съ желѣзомъ, которая соединяетъ оба матеріала въ одно цѣлое.

Во всякомъ случаѣ, многочисленные опыты ясно показываютъ, что введеніе желѣза въ массу бетона значительно увеличиваетъ его сопротивленіе даже при самыхъ неудачныхъ сочетаніяхъ этихъ двухъ матеріаловъ, благодаря, главнымъ образомъ, силѣ сдѣленія бетона съ желѣзомъ; при удачныхъ сочетаніяхъ можно извлечь наибольшую пользу изъ обоихъ матеріаловъ, заставляя работать желѣзо почти исключительно на растяженіе, а бетонъ—на сжатіе. Поэтому нѣкоторая неопредѣленность въ распредѣленіи работы сопротивленія между этими двумя матеріалами не можетъ служить основаніемъ для отрицанія очевидныхъ преимуществъ желѣзо-бетонныхъ системъ сравнительно съ системами чисто-желѣзными или бетонными.

Весь вопросъ сводится къ удачному выбору той или другой системы, соотвѣтствующей наивыгоднѣйшимъ образомъ даннымъ условіямъ. Относительно междуэтажныхъ покрытій можно замѣтить, что въ обыкновенныхъ домахъ, при незначительныхъ пролетахъ и нагрузкахъ, часто можетъ ока-

заться болѣе выгоднымъ примѣненіе простыхъ бетонныхъ сводиковъ между желѣзными балками или покрытій другого простаго типа. Но на фабрикахъ, заводахъ, въ складахъ и въ другихъ промышленныхъ зданіяхъ, подверженныхъ значительнымъ нагрузкамъ, ударамъ и сотрясеніямъ, желѣзо-бетонныя покрытія являются незамѣнимыми. благодаря быстротѣ и простотѣ устройства, полной огнеупорности, гигиеничности и наименьшимъ расходамъ на ремонтъ.

Выборъ системы долженъ быть сдѣланъ въ зависимости отъ данныхъ условій.

Въ настоящее время за границей наиболѣе распространена система Hennebique'a, какъ наиболѣе удовлетворяющая теоретическимъ требованіямъ въ конструктивномъ отношеніи и въ то же время одинаково примѣнимая къ плоскимъ покрытіямъ, мостамъ, подпорнымъ стѣнамъ и пр.

Большія многоэтажныя фабричныя зданія этой системы возведены въ теченіе послѣднихъ 10 лѣтъ въ Нантѣ, Лионѣ, Парижѣ, Марселѣ и почти во всѣхъ другихъ фабричныхъ городахъ Западной Европы и ея колоній. Въ строящихся зданіяхъ для выставки 1900 года въ Парижѣ (Grand et petit palais des beaux-arts) эта система примѣнена для устройства междуэтажныхъ покрытій.

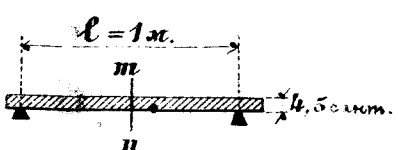
Фиг. 73 представляетъ перспективный видъ и расположение желѣза въ покрытіи той же системы, примѣненной въ зданіи Hôtel de la société des ingénieurs civils de France, Paris, 19 rue Blanche.

Въ концѣ іюля 1898 года закончены обширные опыты, произведенные подъ руководствомъ профессора Rabut (à l'Ecole des ponts et chaussées), надъ разными покрытіями системы Hennebique'a. Въ связи съ опытами, произведенными раньше, можно надѣяться, что выяснятся главные данныя для расчета этой системы, а вмѣстѣ съ тѣмъ установится вполне опредѣленный взглядъ на желѣзо-бетонныя конструкціи.

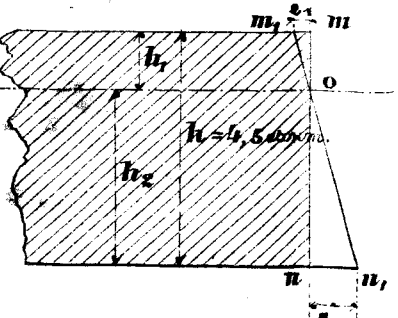
Относительно всѣхъ вообще желѣзо-бетонныхъ сооруже-

ній можно сказать, что для полученія надлежащей прочности и извлеченія всѣхъ выгодъ изъ сочетанія желѣза съ бетономъ необходимы, кромѣ разчета, строгій техническій надзоръ за правильнымъ производствомъ работъ и употребленіе самыхъ лучшихъ матеріаловъ.

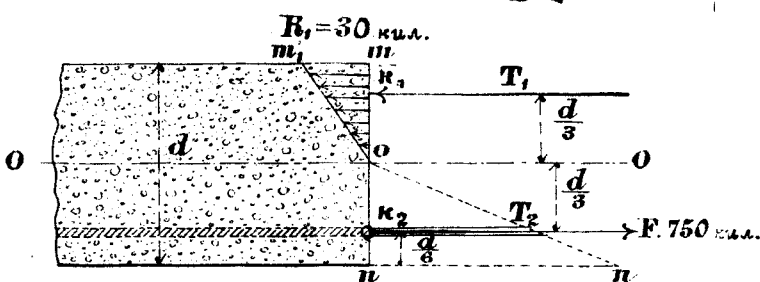
Фиг. 1.



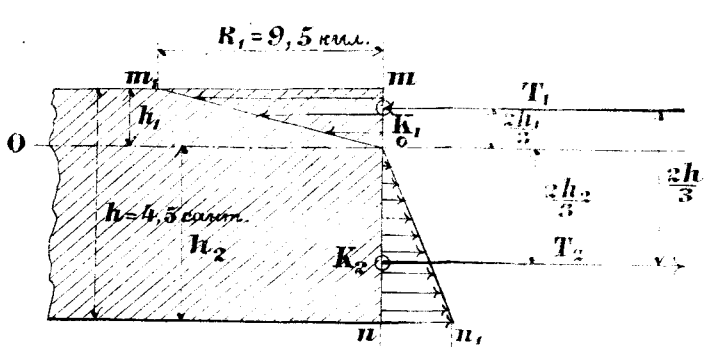
Фиг. 2.



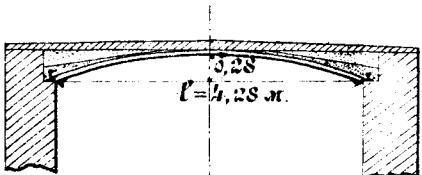
Фиг. 10.



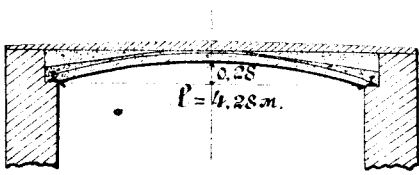
Фиг. 3.



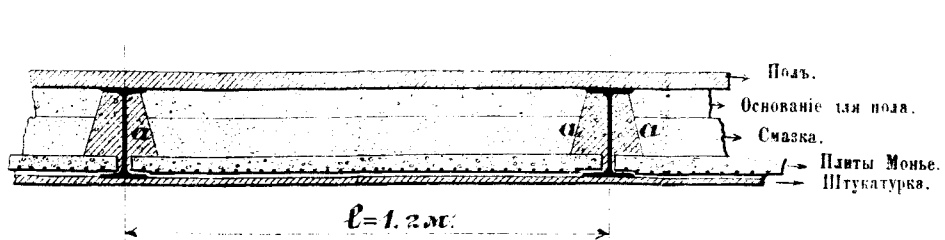
Фиг 4.



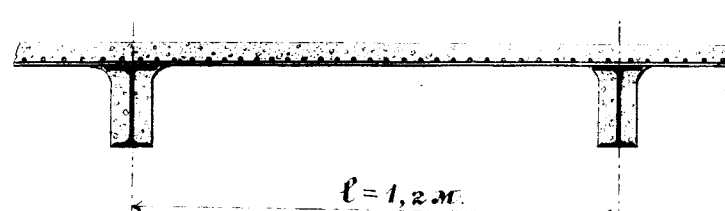
Фиг. 5.



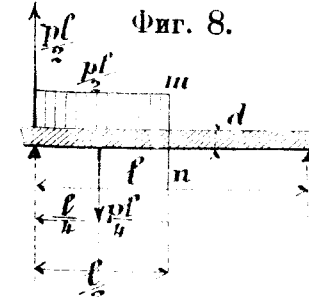
Фиг. 6.



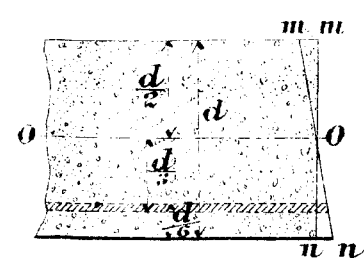
Фиг. 7.



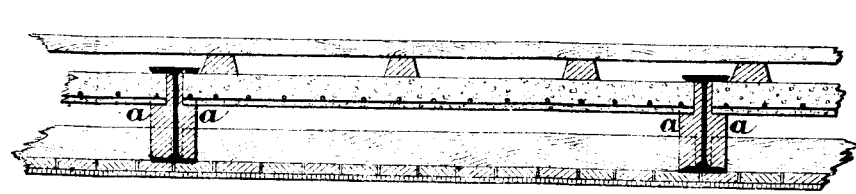
Фиг. 8.



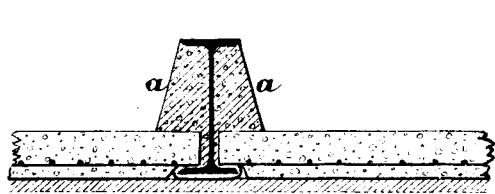
Фиг. 9.



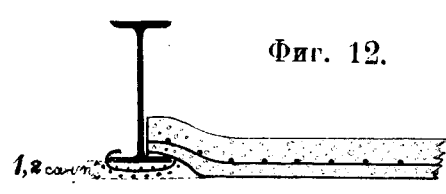
Фиг. 13



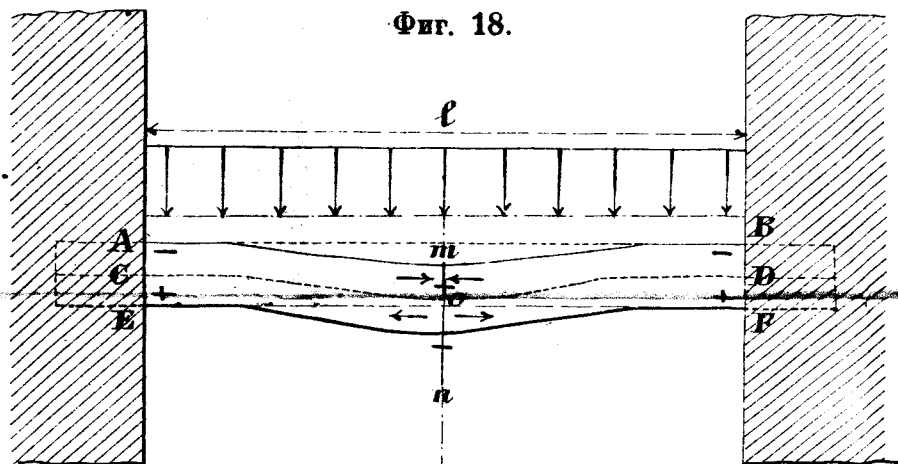
Фиг. 11.



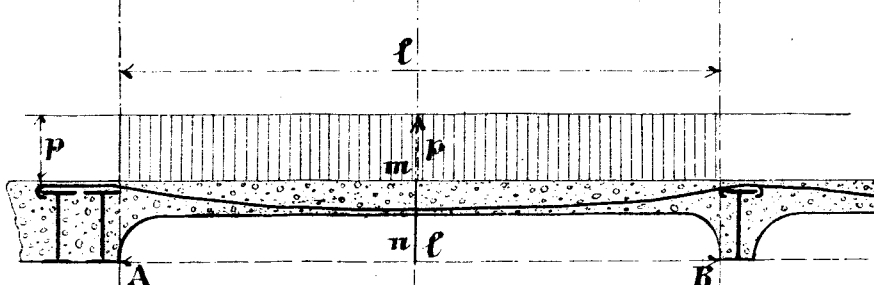
Фиг. 12.



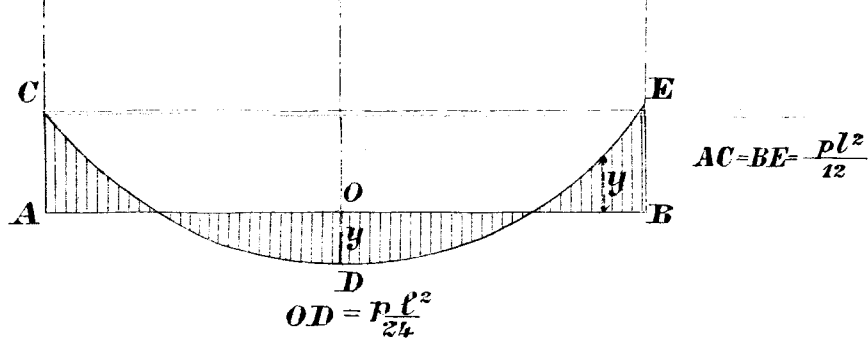
Фиг. 18.



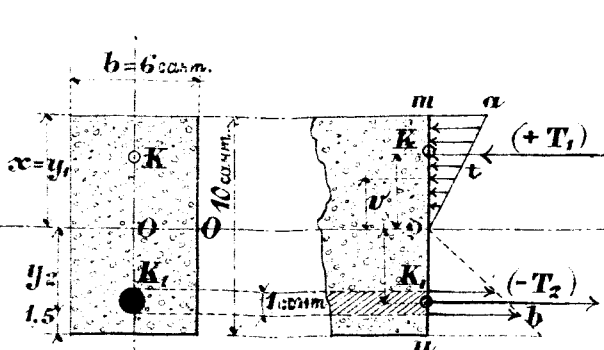
Фиг 19.



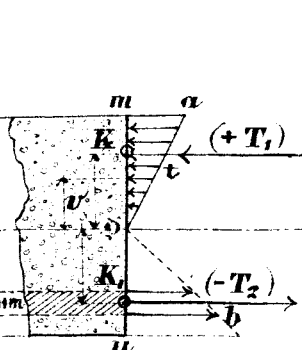
Фиг 20.



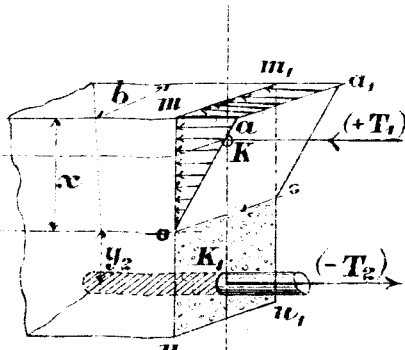
Qar. 23.



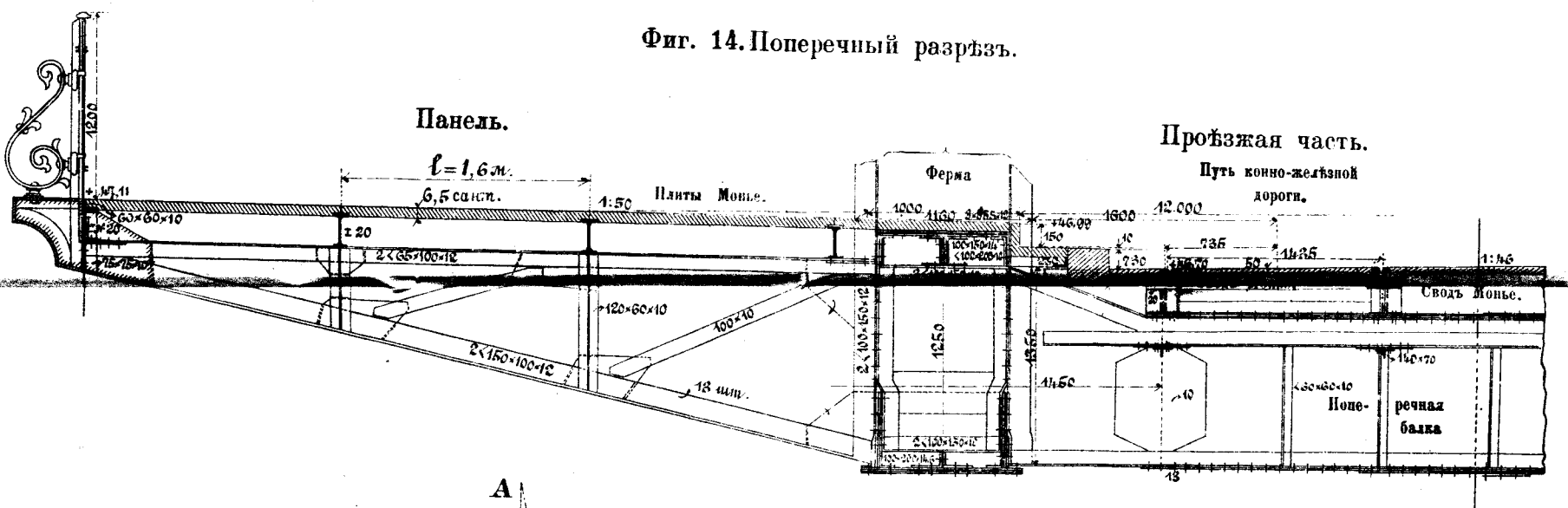
Фиг. 24.



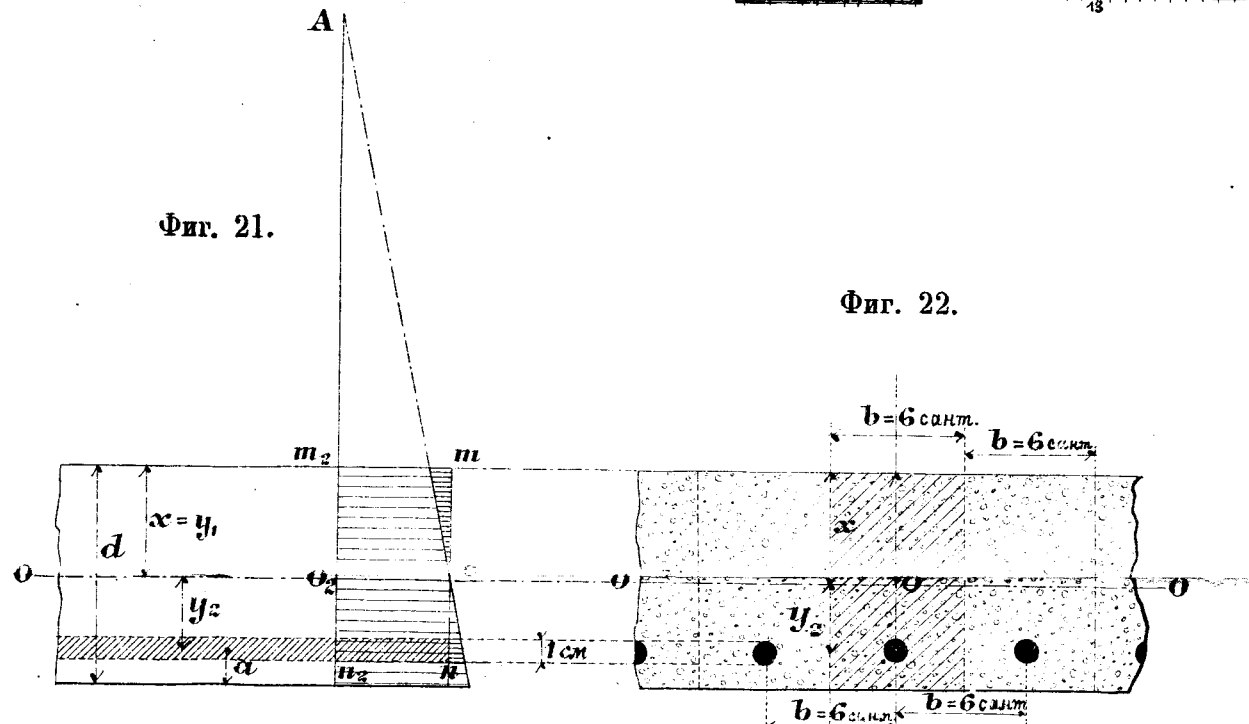
Фиг. 25.



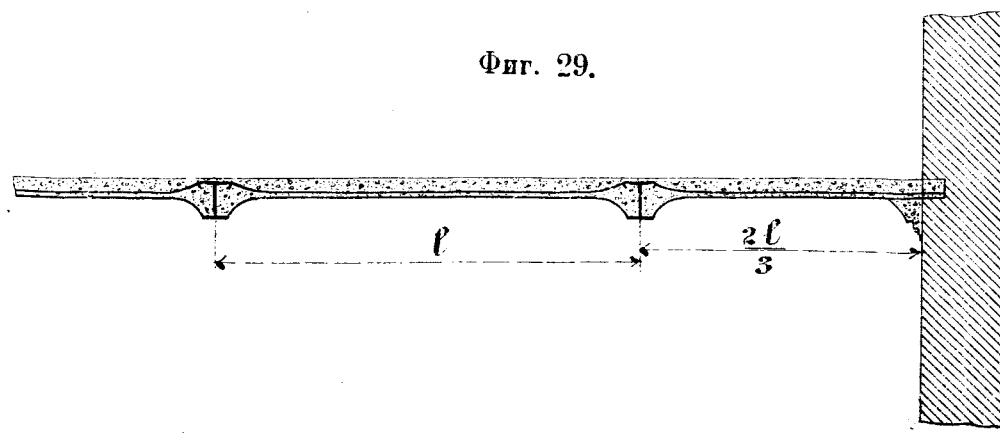
Фиг. 14. Поперечный разръзъ.



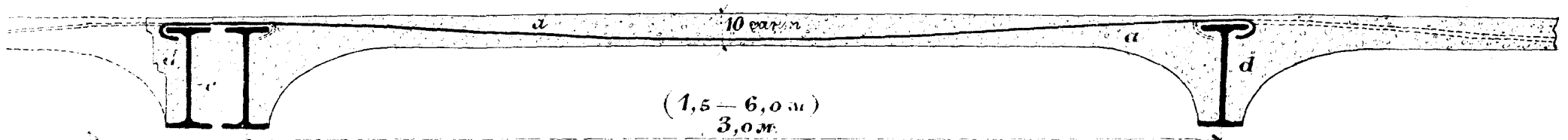
Фиг. 21.



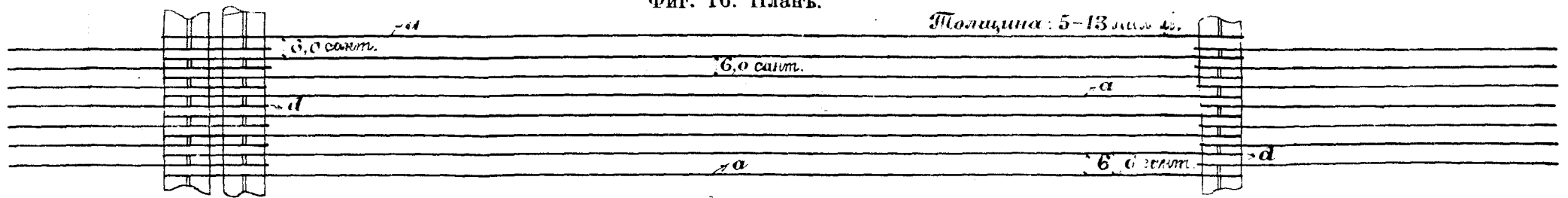
Фиг. 22.



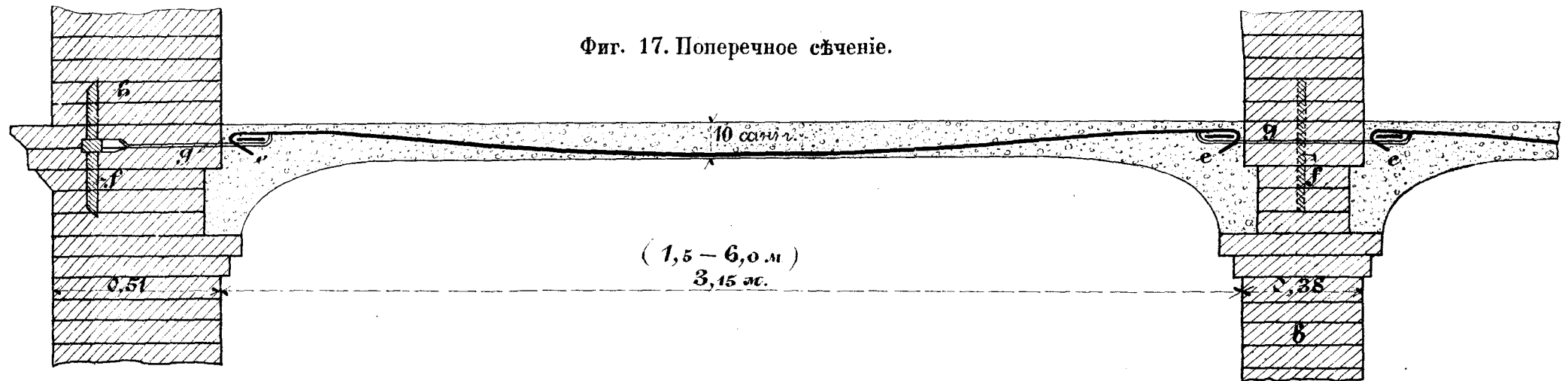
Фиг. 15. Поперечное сѣченіе.



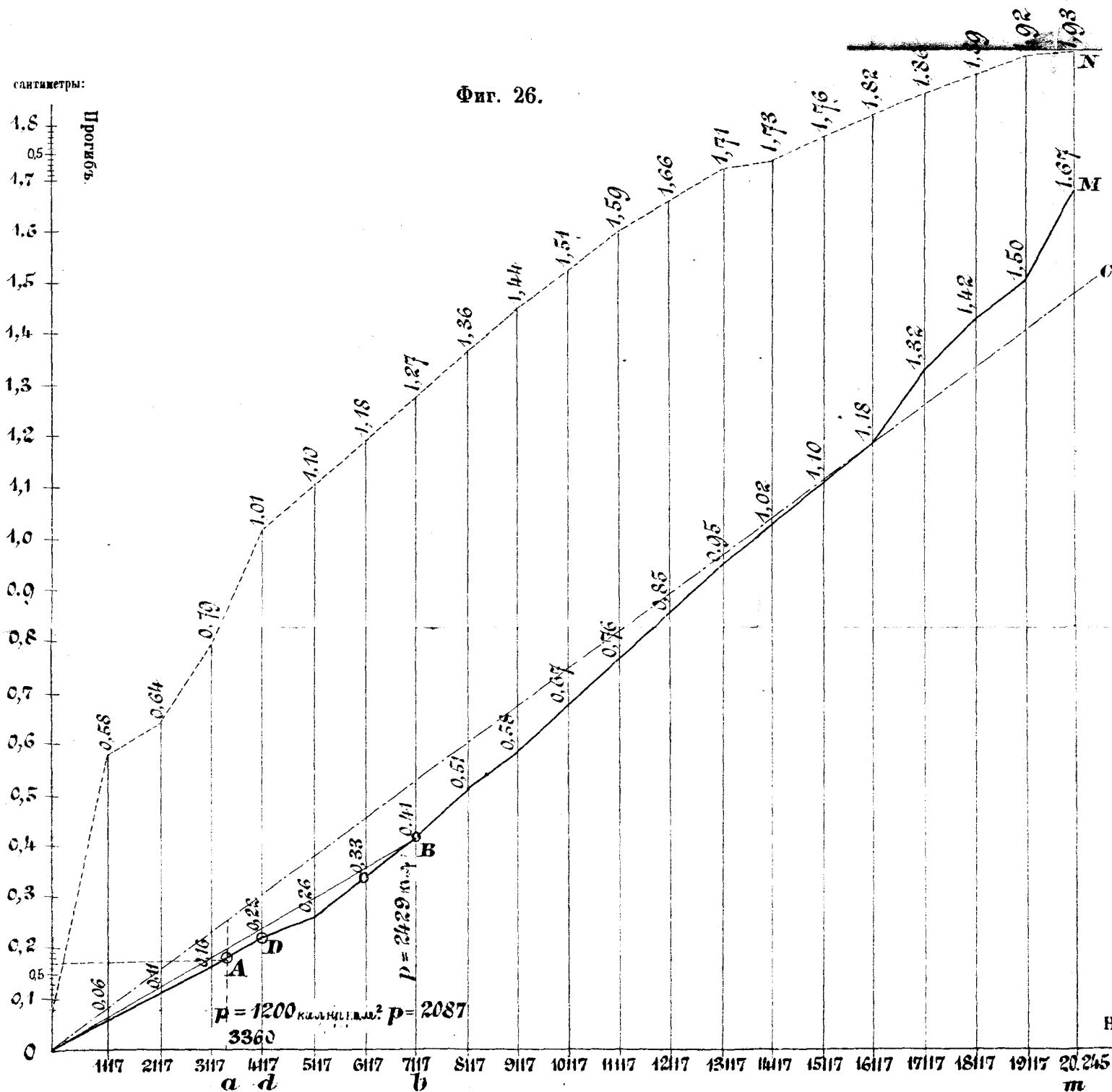
Фиг. 16. Планъ.



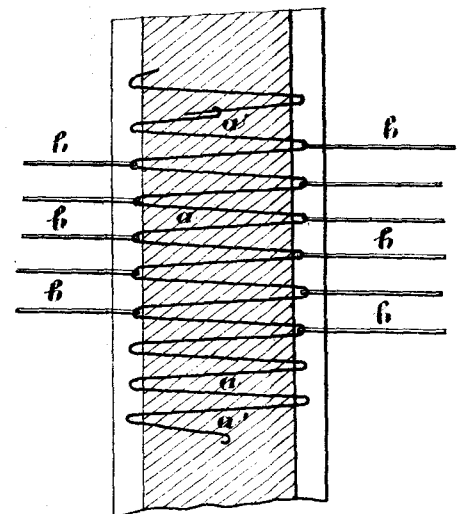
Фиг. 17. Поперечное сѣченіе.



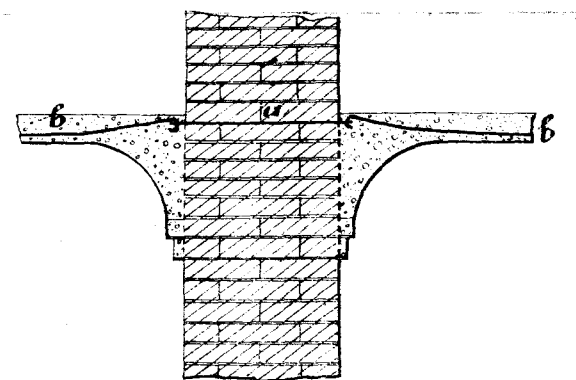
Фиг. 26.



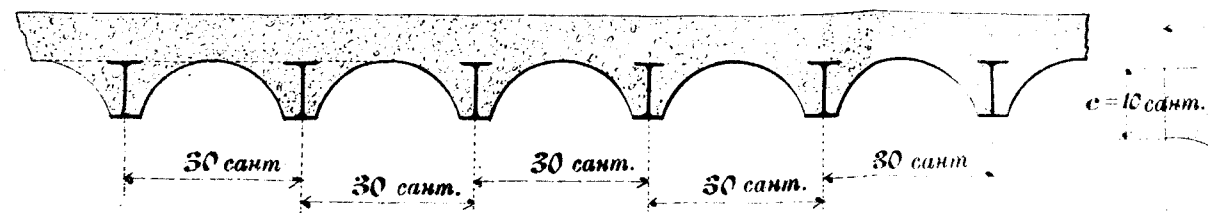
Фиг. 27. Планъ.



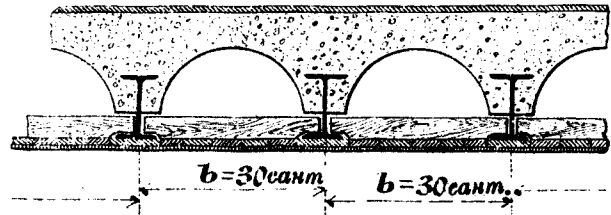
Фиг. 28. Поперечная профиль.



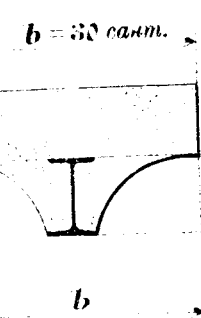
Фиг. 30.



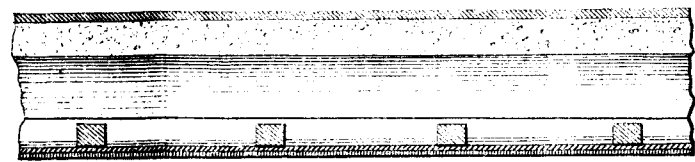
Фиг. 33.



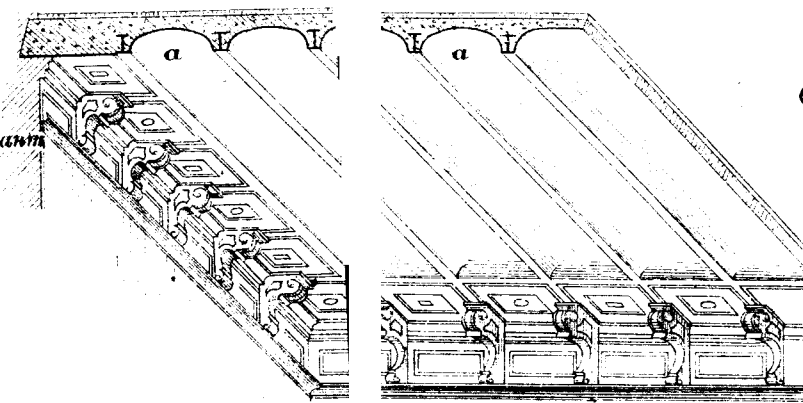
Фиг. 31.



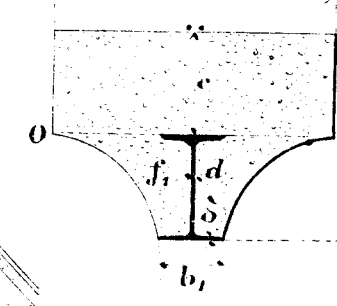
Фиг. 34.



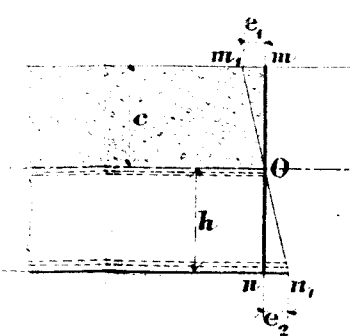
Фиг. 32.



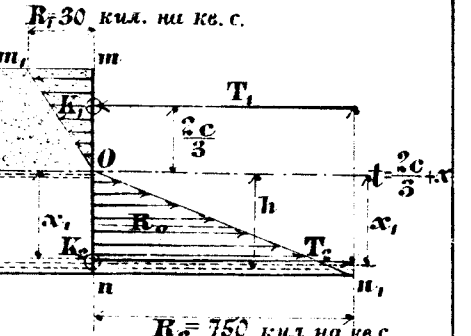
Фиг. 35.
 $b=26,7$ см.



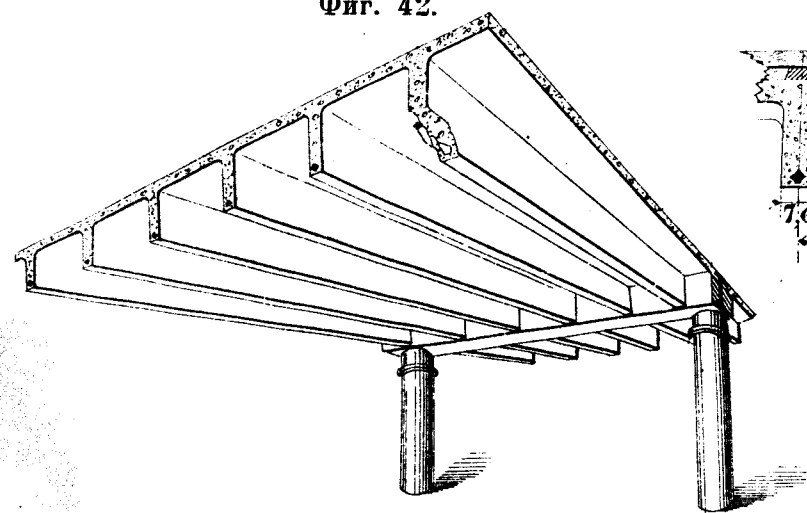
Фиг. 36.



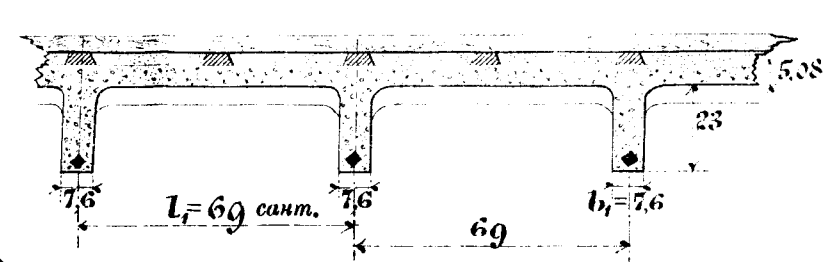
Фиг. 37.



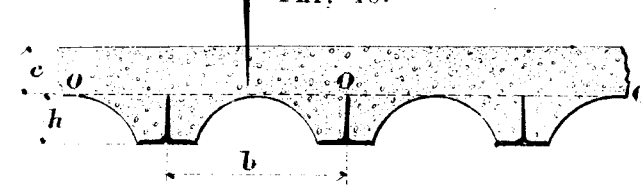
Фиг. 42.



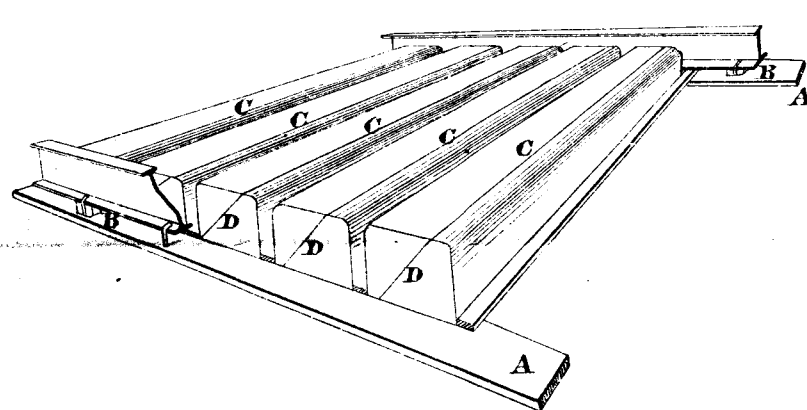
Фиг. 41.



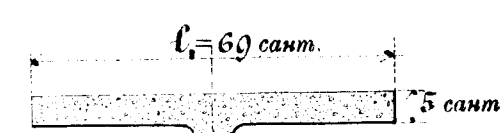
Фиг. 40.



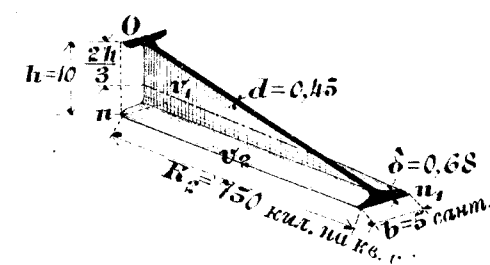
Фиг. 45.



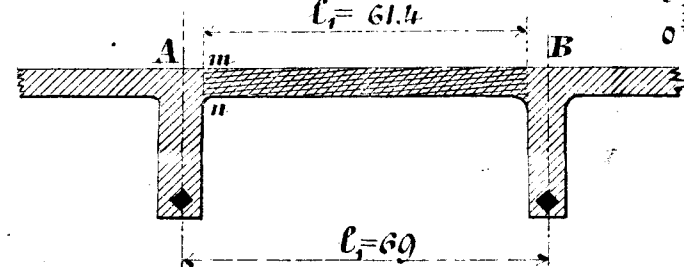
Фиг. 44.



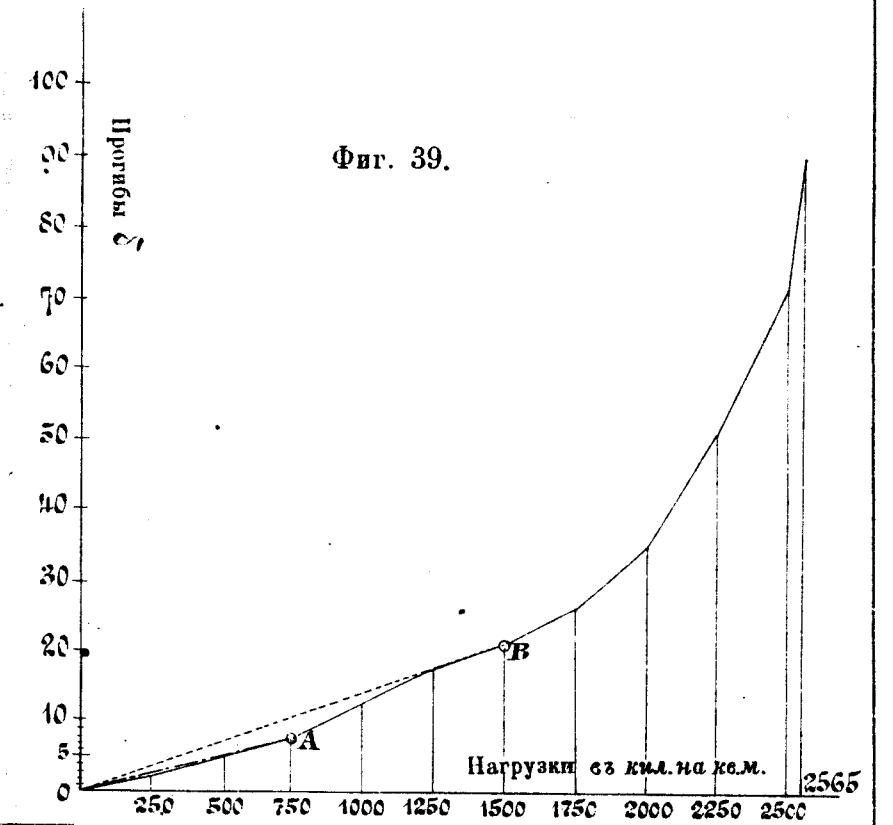
Фиг. 38.



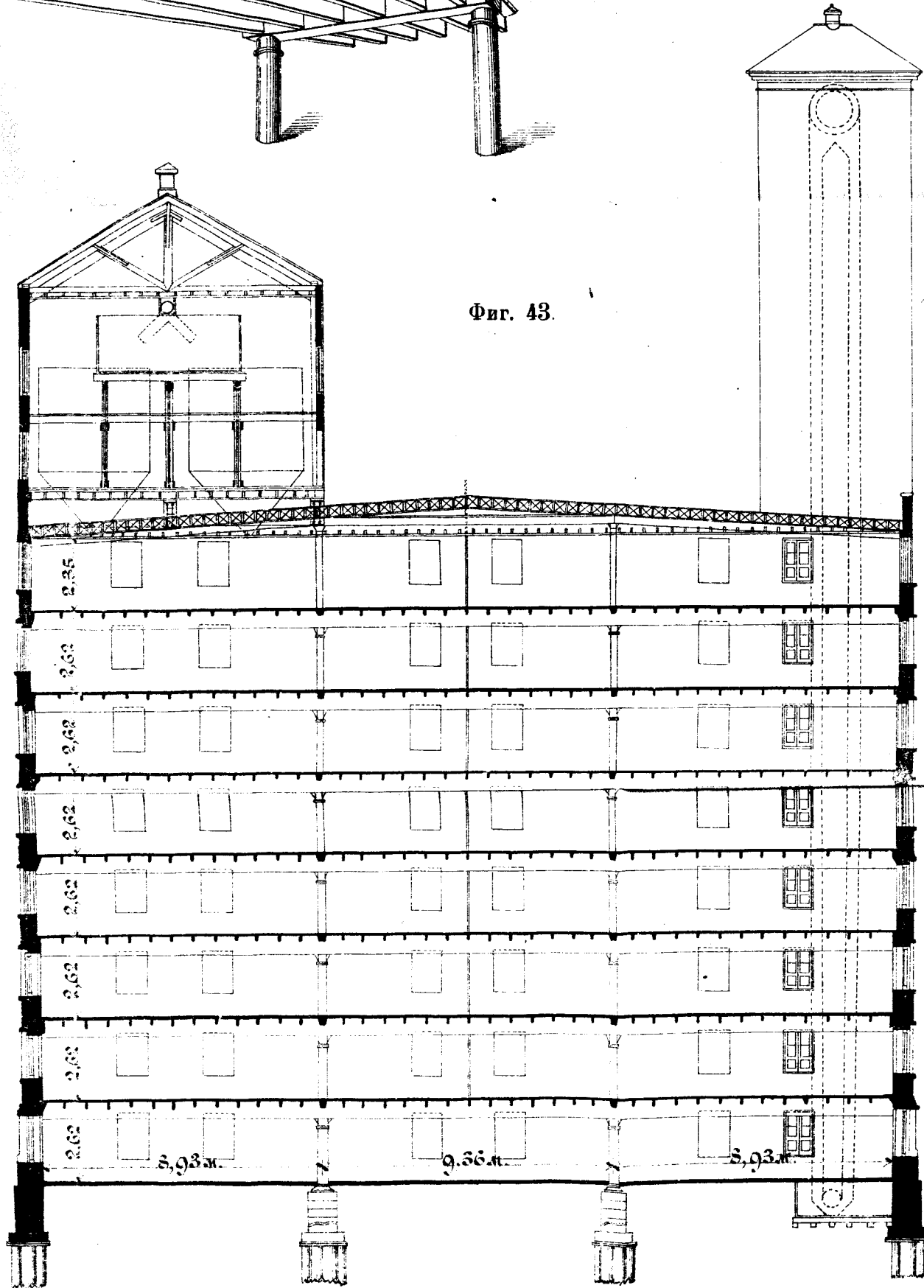
Фиг. 46.



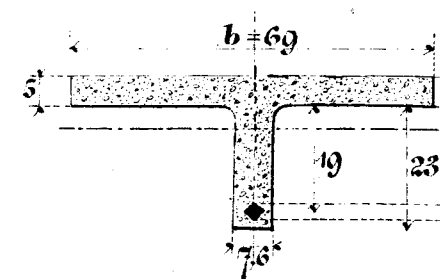
Фиг. 39.



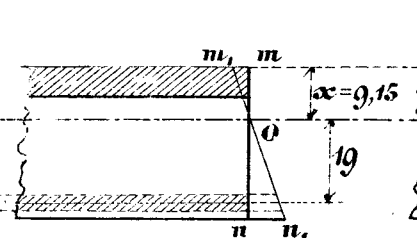
Фиг. 43.



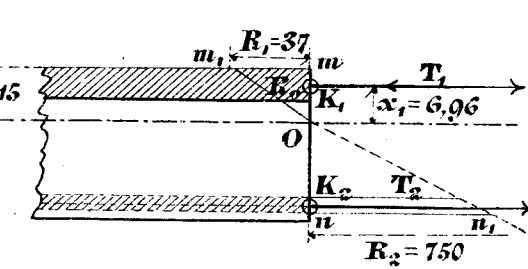
Фиг. 49.



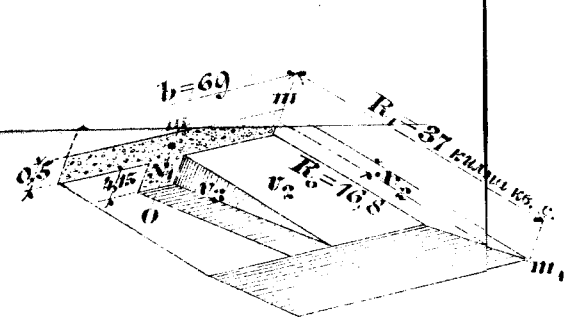
Фиг. 50.



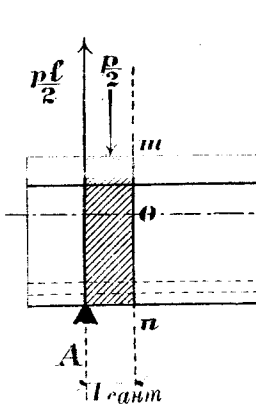
Фиг. 51.



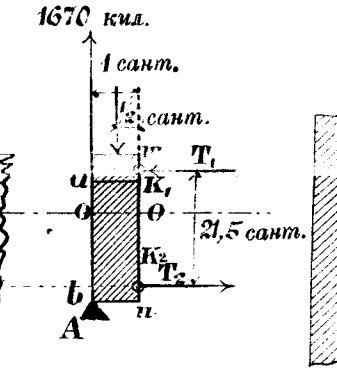
Фиг. 52.



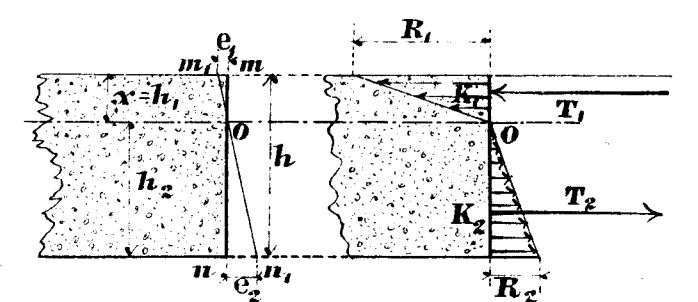
Фиг. 53.



Фиг. 54.

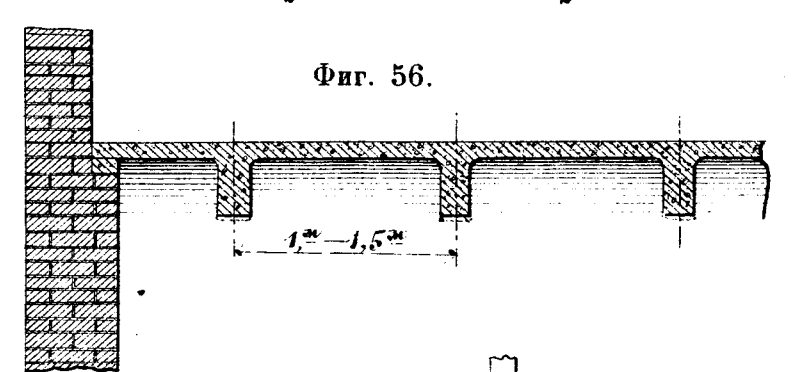


Фиг. 47.

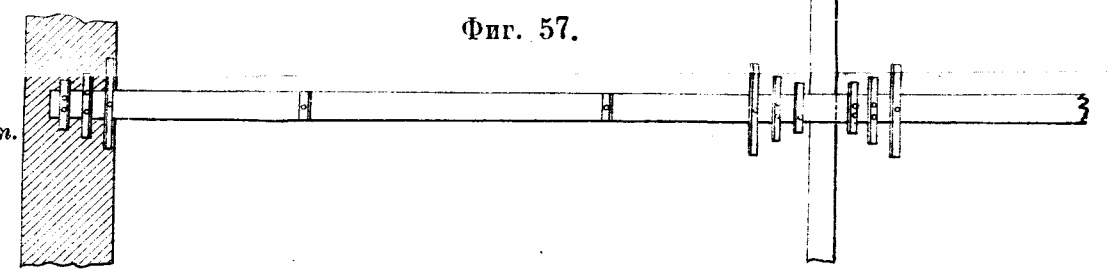


Фиг. 48.

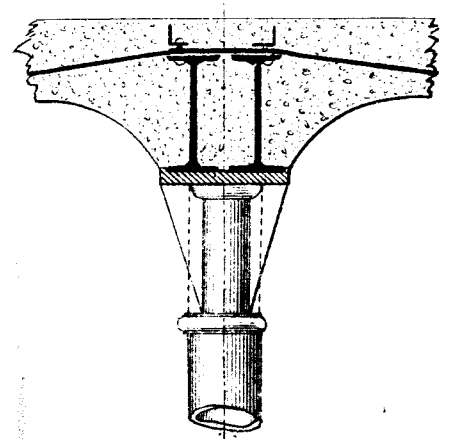
Фиг. 56.



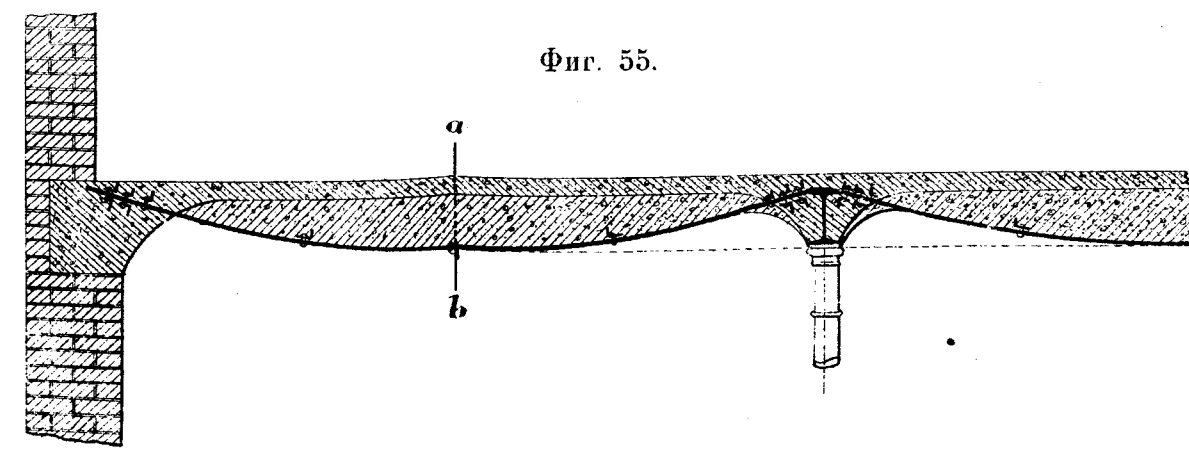
Фиг. 57.



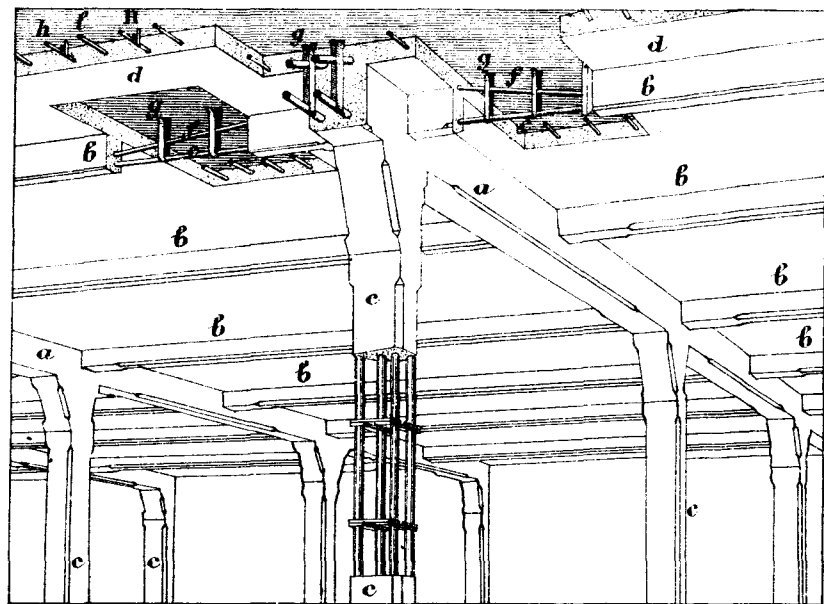
Фиг. 58.



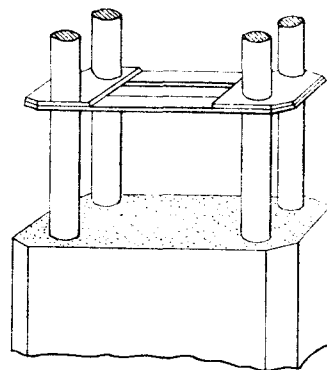
Фиг. 55.



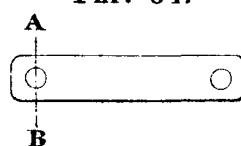
Фиг. 59.



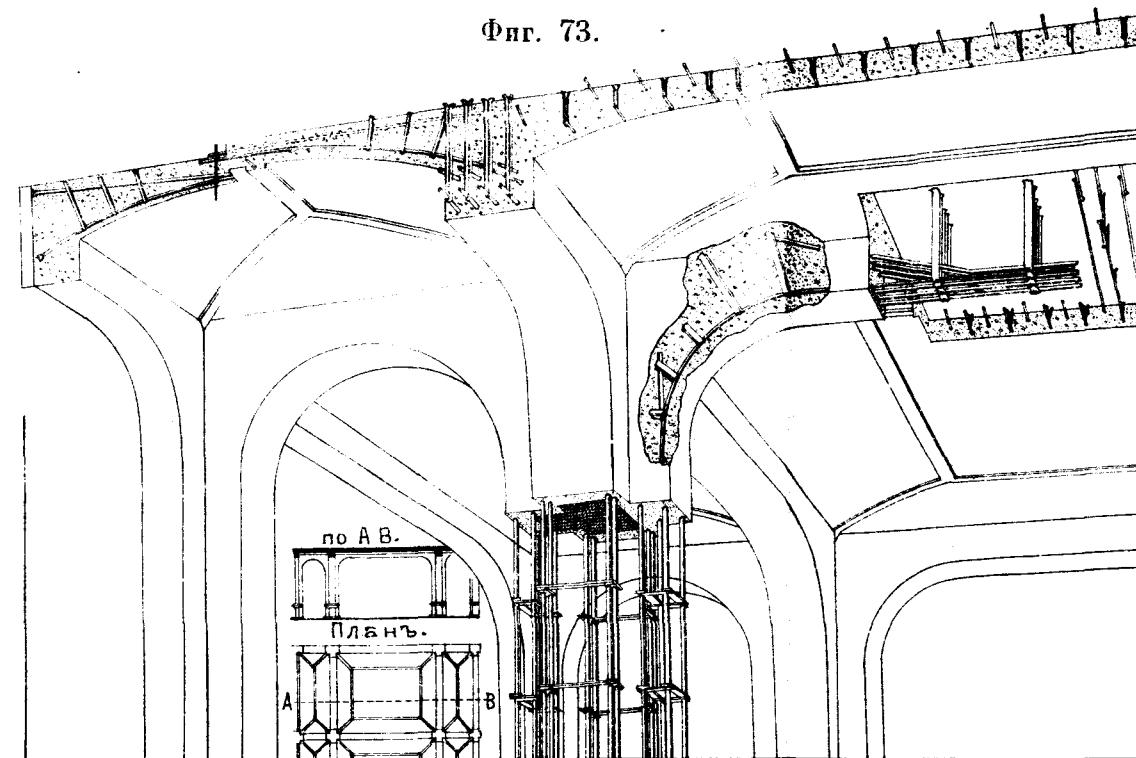
Фиг. 63



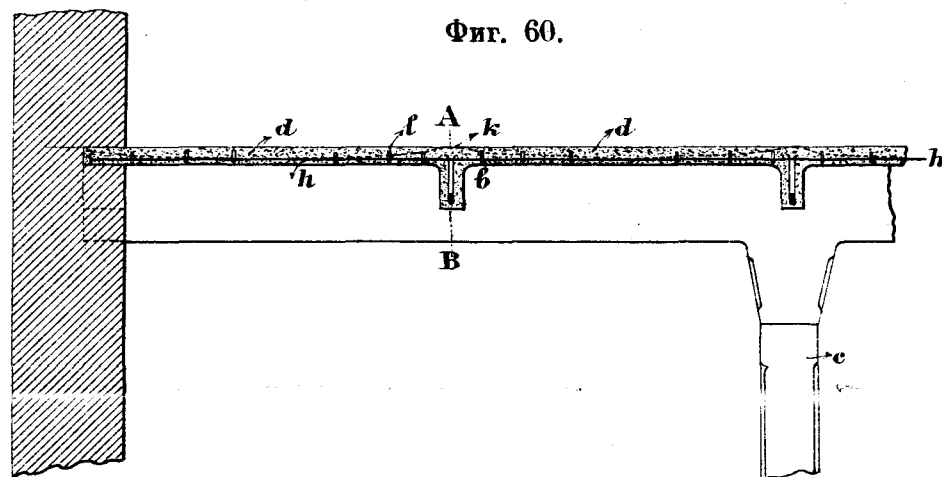
Фиг. 64.



Фиг. 73.

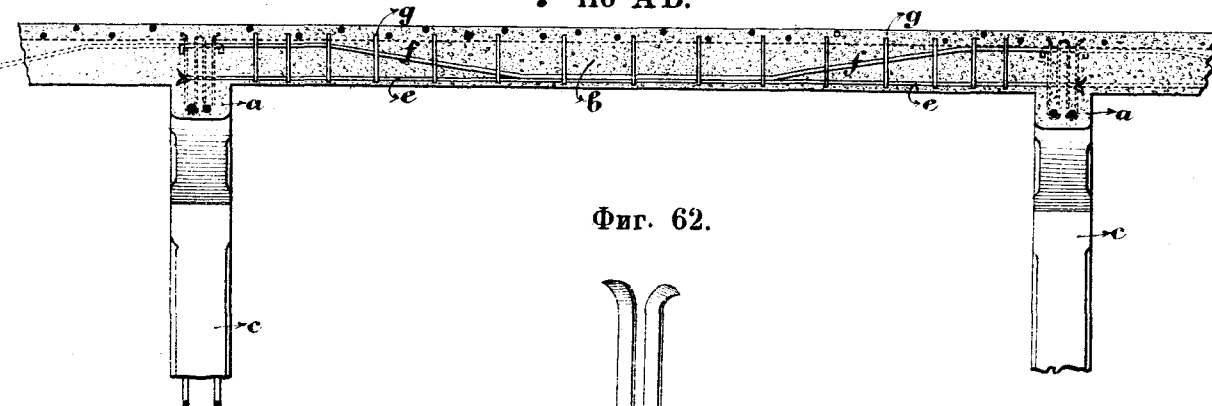


Фиг. 60.

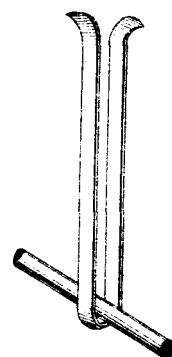


Фиг. 61.

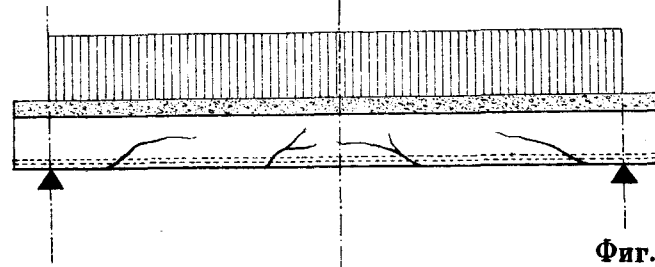
• По АВ.



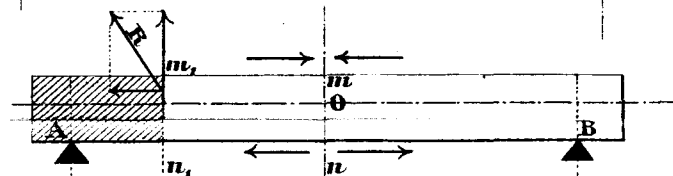
Фиг. 62.



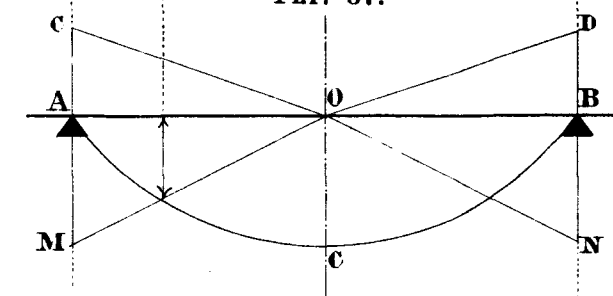
Фиг. 65.



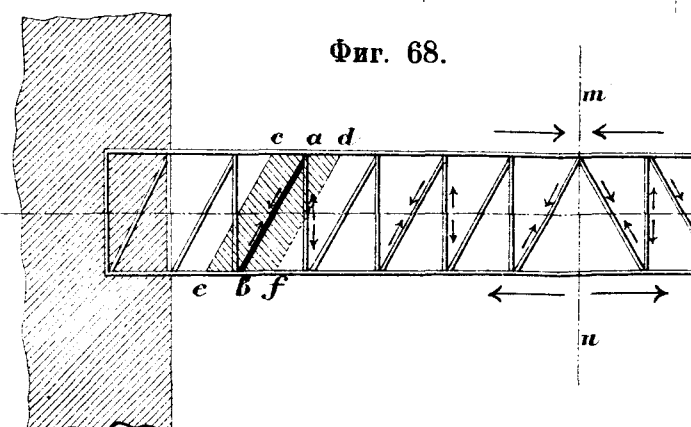
Фиг. 66.



Фиг. 67.

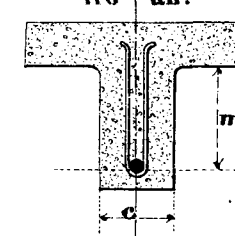


Фиг. 68.

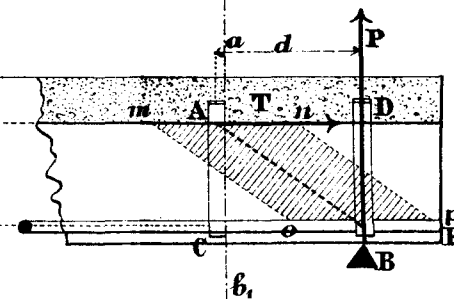


Фиг. 72.

No | ав.

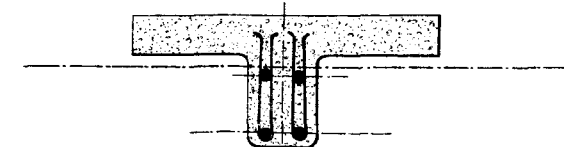


Фиг. 71.



Фиг. 70.

По | а в.



Фиг. 69.

