

1991

М. А. Морель.

КІЕВСКИХЪ ТЕХНИЧЕСКИХЪ КУРСОВ
В. В. П е р а н о в а

ЖЕЛѢЗО-БЕТОНЪ

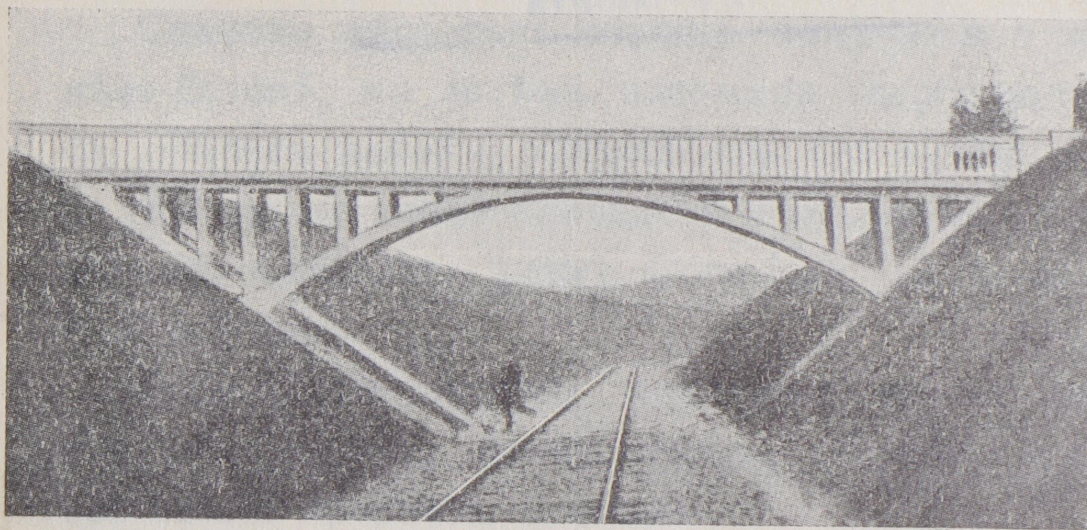
Абонент
Технический
Дата 2004

И ЕГО ПРИМѢНЕНІЯ.

Переводъ съ французскаго Л. Л. Мищенко

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ ИНЖ. ПУТ. СООБЩ.

В. В. АЙВАЗОВА.



1975

С. ПЕТЕРБУРГЪ,

1907.

ПРЕДИСЛОВІЕ АВТОРА.

Желѣзо-бетонъ сдѣлался извѣстнымъ всего какихъ-нибудь десять лѣтъ, но за это время успѣлъ получить такое широкое распространеніе и имѣеть такую большую будущность, что ему по праву должно быть удѣлено мѣсто въ „Encyclopédie scientifique des Aide—Mémoire“ Леоте.

Хотя теорія новаго типа построекъ далеко еще не полна, практика уже показала всю ту выгоду, которую можно извлечь изъ сочетанія желѣза и бетона.

Сдѣлавъ нѣсколько общихъ замѣчаній о желѣзо-бетонѣ, мы затѣмъ изложили теорію вопроса, описавъ работы, освѣщающія его лучше всего. Въ первой главѣ приведены результаты изслѣдованій Cristophe, Lefort, Considère, Harel de la Noë и Resal.

Главнѣйшія системы желѣзо-бетонныхъ конструкцій: плиты, балки, своды, столбы и т. п. составили предметъ II главы.

Въ слѣдующей главѣ обрисована природа употребляемыхъ для желѣзо-бетонныхъ конструкцій матеріаловъ и указанъ ходъ работъ.

Въ послѣдней главѣ изложены методы расчета и формулы, рекомендуемые извѣстными строителями.

При составленіи настоящаго труда мы пользовались большимъ числомъ работъ по затронутому нами вопросу, но въ особенности руководились книгами: „Желѣзо-бетонъ“ Christophe и „Желѣзо-бетонныя конструкціи“ Berger и Guillerme, изъ которыхъ сдѣлали много извлеченій.

М. А. Морель.

ВВЕДЕНИЕ.

Общія замѣчанія о желѣзо-бетонныхъ конструкціяхъ.

Подъ именемъ желѣзо-бетонныхъ конструкцій разумѣютъ всѣ сооруженія, при которыхъ въ цеменномъ растворѣ или бетонѣ помѣщается скелетъ изъ металлическихъ частей. Эти конструкціи представляютъ, слѣдовательно, собою соединеніе бетона и желѣза (или стали), распределенныхъ такимъ образомъ, что спеціальныя свойства, характерныя для этихъ составныхъ элементовъ, утилизируются наиболее выгодно. Строитель долженъ установить, въ какихъ пропорціяхъ нужно взять эти элементы и какое взаимное расположеніе имъ дать, чтобы получить при наименьшихъ затратахъ наибольшую прочность.— Происхожденіе желѣзо-бетона мало изслѣдовано. Хорошо извѣстно лишь то обстоятельство, что сочетаніе желѣза съ бетономъ примѣнялось съ давнихъ поръ. Первое официальное появленіе

желѣзо-бетона относится къ Всемирной выставкѣ 1855 года, на которой фигурировало судно, построенное по этой системѣ г. Ламбо. Въ 1861 году Франсуа Куанье впервые изложилъ принципы желѣзо-бетонныхъ конструкцій и предложилъ нѣсколько видовъ ихъ примѣненія: при постройкахъ сводовъ, трубъ, половъ и т. п. Первый патентъ на этотъ способъ построекъ взятъ былъ Ж. Монье въ 1865 г. и касался устройства кадокъ и бассейновъ изъ желѣзо-бетона, приспособленныхъ для садовой культуры. Монье, простой садовникъ, и не предполагалъ всей той выгоды, какую оказалось возможнымъ извлечь изъ его счастливой идеи. Его привиллегіи были приобрѣтены германской фирмой „Акціонерное Общество бетонныхъ работъ и работъ по системѣ Монье въ Берлинѣ“ и въ Австріи обществомъ подъ управленіемъ Вейса, и они то и дали такое широкое распространеніе новому типу построекъ.

Англичане и американцы не остались позади другихъ въ этомъ движеніи; инженеры Hyatt, Jackson, Ransome были первыми, примѣнившими желѣзо-бетонъ при устройствѣ половъ и балокъ.

Первое примѣненіе сочетанія желѣза и бетона во Франціи было сдѣлано въ 1876 г. при постройкѣ порта въ Тулонѣ; но другой случай такого примѣненія встрѣчаемъ лишь въ 1889 г. на Всемирной выставкѣ—въ водопроводныхъ трубахъ изъ „сидеро-цемента“ системы Борденава и въ нѣсколькихъ образчикахъ производства Коттансена. Затѣмъ двѣ новыхъ системы появились въ

1892 г., это — системы Геннебика и Куанье. Геннебикъ примѣняетъ желѣзо-бетонъ ко всякаго рода постройкамъ: мостамъ, подпорнымъ стѣнамъ, резервуарамъ, эстакадамъ, сваямъ и т. д. Этотъ великій строитель основалъ отдѣленіе своего промышленнаго заведенія не только во всѣхъ большихъ городахъ Франціи, но и во всѣхъ странахъ Европы. Имъ возведено болѣе 6.000 построекъ, общая стоимость которыхъ достигаетъ почти 70.000.000 франковъ. Съ тѣхъ поръ изъ этихъ первыхъ системъ развилось очень много новыхъ, и Всемирная выставка 1900 г. дала, можно сказать, желѣзо-бетону официальную санкцію, которой онъ вполне заслуживаетъ.

Теоретическое изученіе желѣзо-бетона не развивалось наряду съ его многообразными примѣненіями. Легко это понять, если принять во вниманіе всѣ трудности, которыя представляетъ такое изученіе. Многіе ученые заняты работами надъ желѣзо бетономъ (мы дальше укажемъ въ частности работы г.г. Koenen, Lefort, de Tedesco, Matrai, Harel de la Noë, Resal, Considère, von Thullie, Neumann, Ostensfeld, Sanders, Ritter и Christophe), но эти работы не дали еще всего того, что можно было бы отъ нихъ ожидать; тѣмъ не менѣе онѣ привели къ весьма интереснымъ выводамъ.

Правительственныя учрежденія и общественныя власти въ свою очередь заинтересовались вопросомъ о примѣненіи желѣзо-бетона. Между прочимъ, Департаментъ Общественныхъ Работъ

во Франціи назначилъ комиссію для выработки условій по допущенію новаго типа построекъ на работахъ общественнаго значенія.

Принципы новой системы строительства обсуждаются еще и понынѣ, но почти всѣ теоретики отказались уже отъ своего первоначальнаго предубѣжденія. Не обошлось, конечно, безъ опасеній за смѣлость желѣзо-бетонныхъ построекъ, но нужно признать, что онѣ насколько смѣлы, настолько же и изящны, такъ какъ не такъ грузны, какъ сооруженія каменные, и не такъ тощи, какъ металлическія.

Представлены, однако, и весьма солидныя возраженія противъ примѣненія желѣзо-бетона. Спрашивается, что будетъ происходить съ металломъ, заключеннымъ въ бетонъ, не будетъ ли ржавчина разъѣдать желѣзо или сталь, не пострадаетъ ли бетонъ самъ по себѣ отъ различныхъ разрушительныхъ дѣятелей жидкихъ или газообразныхъ, будетъ ли вполне удовлетвори-тельнымъ сцѣпленіе составныхъ частей, не нарушатъ ли или не ослабятъ ли этого сцѣпленія колебанія или повторные толчки, не разрушатъ ли сооруженія рѣзкія колебанія температуры. Практика обязана дать отвѣтъ на эти вопросы, и до сихъ поръ отвѣтъ этотъ получался всегда удовлетворительный.

Съ тѣхъ поръ, какъ употребленіе желѣзо-бетона стало всеобщимъ, часто замѣчали, что желѣзо въ цементѣ не подвергается никакимъ измѣненіямъ; болѣе того, при разборкѣ многихъ

построекъ изъ желѣзо-бетона въ Амьенѣ, Бресславлѣ, Греноблѣ и пр. повсюду было констатировано, что металлъ не подвергся ни малѣйшему окисленію. Напротивъ, обнаружено, что уже заржавѣвшее желѣзо, будучи помѣщено въ бетонъ, по истеченіи нѣкотораго времени очищается и пріобрѣтаетъ голубой оттѣнокъ, какъ будто оно только что вышло изъ подъ прокатки. Отнюдь не надо ни покрывать краской, ни гальванизировать металлъ передъ погруженіемъ его въ бетонъ, можно его употреблять въ томъ видѣ, въ какомъ онъ находится на складѣ хотя бы даже и въ заржавѣвшемъ состояніи. Это обстоятельство имѣетъ очень важное значеніе.

Необходимо однако имѣть въ виду, что бетонъ не долженъ содержать веществъ, способныхъ разъѣдать металлъ, и въ особенности надо быть осторожнымъ при употребленіи шлаковъ, которые часто содержатъ соединенія, вредно дѣйствующія на желѣзо.

Чистая вода на бетонъ не оказываетъ никакого дѣйствія, а потому рассмотримъ только воды минеральныя и сточныя. Въ первомъ случаѣ необходимъ жирный бетонъ при тщательномъ ремонтѣ штукатурки; во второмъ—растворъ также долженъ быть богатъ цементомъ; однако, въ виду того, что количество кислотъ, содержащихся въ сточныхъ водахъ, бываетъ обыкновенно мало, растворъ не будетъ сильно разъѣдаться, тѣмъ болѣе, что онъ скоро покрывается предохраняющимъ его налетомъ изъ органическихъ веществъ.

Желѣзо-бетонъ хорошо сопротивляется непосредственному дѣйствию огня и рѣзкому охлажденію. Durand-Claye нашель, что средній коэффициентъ расширенія желѣза заключается между 0,0000130 и 0,0000140, въ то время какъ коэффициентъ расширенія цемента мало разнится отъ 0,0000135. Это крайне интересное обстоятельство приводитъ къ тому, что подъ дѣйствиемъ огня желѣзо и бетонъ расширяются совершенно одинаково, не давая никакого разъединенія въ массѣ. Болѣе того, такъ какъ цементъ весьма плохой проводникъ тепла, то желѣзо не даетъ никакого замѣтнаго удлиненія и поэтому желѣзо-бетонныя сооруженія, какъ показали многочисленные опыты, выдерживаютъ весьма сильныя пожары, нисколько не разрушаясь и даже не теряя силы своего сопротивленія.

Въ виду того, что металлъ сохраняется въ бетонѣ безконечно долго и самый бетонъ не измѣняется отъ времени, соединеніе этихъ двухъ элементовъ даетъ въ результатъ нѣчто цѣлое, обладающее весьма солидной прочностью. Лучшимъ доказательствомъ сказаннаго могутъ служить желѣзо-бетонныя постройки, возведенныя въ эпоху, уже достаточно отдаленную отъ нашего времени, чтобы можно было дѣлать соотвѣтствующія заключенія.

Какъ на спеціальную особенность желѣзо-бетона укажемъ на плохую проводимость тепла, звука, электричества, на весьма большую прочность и пластичность, позволяющую придавать

ему любую форму. Сооруженія изъ желѣзо-бетона возводятся очень быстро, имѣютъ незначительный мертвый грузъ, весьма экономичны и не лишены изящества. Драгоцѣнные качества этого новаго рода строительства дѣлаютъ то, что онъ распространяется все болѣе и болѣе, не смотря на встрѣчающееся еще къ нему недовѣріе.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Теорія желѣзо-бетона.

Въ виду того, что наша цѣль широко популяризировать новый типъ построекъ, мы изложимъ теорію желѣзо-бетона возможно проще, для чего и остановимся на простѣйшихъ гипотезахъ.

Желѣзо-бетонъ служилъ предметомъ многочисленныхъ теорій; по нашему мнѣнію, наиболѣе рациональнымъ способомъ расчета является тотъ, который даетъ результаты наиболѣе близкіе къ дѣйствительности. Вотъ почему мы дали передъ другими предпочтеніе теоріи Кристофа, которая, не будучи особенно точной, покоится однако на проверенныхъ опытнымъ путемъ основаніяхъ. Есть много теорій болѣе полныхъ, но самыя основанія ихъ болѣе или менѣе гипотетичны, каковое обстоятельство лишаетъ всякой достовѣрности ихъ выводы. Основанія, на которыхъ покоится теорія Кристофа, таковы:

1⁰ *Солидарность бетона и металла при условіи такого расположенія арматуры, при которомъ достигается полная однородность желѣзо-бетона;*

2⁰ *Неизмѣняемость поперечныхъ стѣнѣй;*

3⁰ *Неизмѣняемость коэффициента упругости бетона при сжатіи въ тѣхъ случаяхъ, когда нагрузка не превышаетъ общеупотребительныхъ предѣловъ;*

4⁰ *Разрушеніе бетона, подвергнутаго растяженію (при условіи, что способъ расчета не будетъ примѣненъ къ опредѣленію упругихъ деформаций);*

5⁰ *Отсутствіе начальныхъ напряженій.*

Доказательства положеній Кристофа.

1⁰ При теоретическомъ изученіи желѣзо-бетона обыкновенно принимаютъ за правило, что бетонъ участвуетъ въ деформаціяхъ металла. Если E и E' — соотвѣтственные коэффициенты упругости бетона и металла, то упругія напряженія арматуры и непосредственно прилегающаго къ ней бетона, будутъ относиться между собою какъ E' къ E .

Изъ опытовъ Harel de la Noë слѣдуетъ, что скольженіе арматуры зависитъ или отъ удлиненія металла, превосходящаго предѣлъ упругости, или отъ разрушенія бетона. Съ другой стороны, инженеръ Службы маяковъ и водныхъ знаковъ de Joly доказалъ, что при растяженіи скольженіе арматуры въ бетонѣ существуетъ; но разница, получаемая между дѣйствительными величинами удлиненій и вычисленными по гипотезѣ

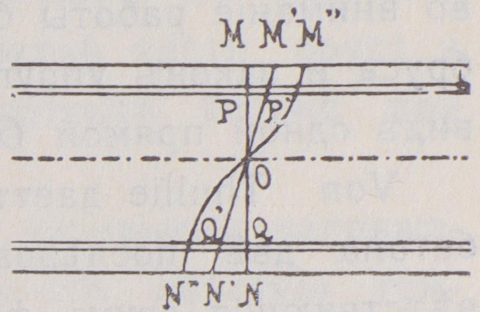
солидарности незначительна. Практика показываетъ, что между теоретическими и практическими данными не получается замѣтныхъ различій, которыя можно было бы приписать этой гипотезѣ. Однако, для допущенія этой гипотезы необходимо достиженіе такой однородности матеріала, какая только возможна, т. е. необходимо, чтобы арматура состояла изъ большого числа брусковъ малаго сѣченія, правильно распределенныхъ въ бетонъ черезъ небольшіе промежутки, а не изъ нѣсколькихъ широко разставленныхъ брусковъ большого діаметра, или изъ фасоннаго желѣза, оставляющаго въ арматурѣ большіе промежутки.

2⁰ Въ основѣ общеупотребительной теоріи сопротивленія матеріаловъ лежитъ слѣдующая гипотеза: *всякое поперечное сѣченіе призматическаго тѣла, подвергнутаго дѣйствію внѣшнихъ силъ, остается плоскимъ и равнымъ самому себѣ во все время деформаціи.*

Всѣ авторы, изучавшіе желѣзо-бетонъ, принимаютъ эту гипотезу, хотя она и не подтверждается нѣкоторыми произведенными опытами. Мы не знаемъ еще закона деформаціи плоскихъ сѣченій, а потому примемъ эту гипотезу, считая ее лишь приблизительнымъ выраженіемъ того, что происходитъ въ дѣйствительности.

3⁰ Законъ упругихъ силъ былъ предметомъ долгихъ пререканій между учеными, занимавшимися теоріей желѣзо-бетона.

Пусть MN (фиг. 1) будетъ какое-нибудь сѣченіе разсматриваемаго бруса; подъ дѣйствиємъ внѣшнихъ силъ это сѣченіе переходитъ въ положеніе $M'N'$. Сжимающія и вытягивающія напряжения въ бетонѣ выше и ниже нейтральнаго волокна O суть функціи деформаций, равномерно возрастающихъ отъ O къ MM' и отъ O къ NN' , а также формы бруса. Эти функціи можно представить въ видѣ кривыхъ OM'' и ON'' . Въ виду того, что арматура, согласно гипотезѣ, участвуетъ въ деформацияхъ бетона, ея сѣченія P и Q переходятъ соотвѣтственно въ P' и



Фиг. 1.

Q' , и величину напряженій въ нихъ можно опредѣлить въ зависимости отъ коэффиціента упругости. Если извѣстны всѣ соотношенія между напряжениями и деформациями, то, пользуясь двумя уравненіями равновѣсія (момента и проэкціи силъ), можно опредѣлить величину нормальныхъ силъ упругости, проявляющихся между двумя частями бруса, раздѣленными сѣченіемъ MN .

Все сводится къ тому, чтобы найти уравненіе кривыхъ OM'' и ON'' . Здѣсь то мнѣнія различныхъ авторовъ расходятся.

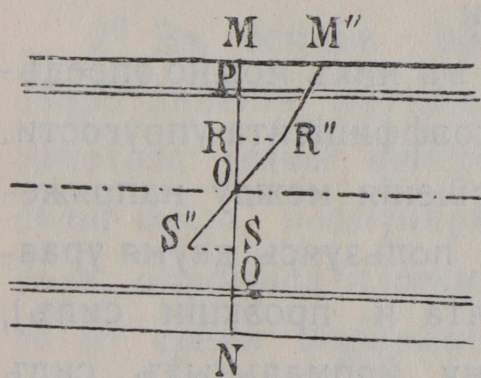
De Mazas, Neumann, Lefort, Resal, и Mandl предполагаютъ, что кривая $M''ON''$ —прямая линия, или, иначе говоря, что коэффиціентъ упругости бетона одинаковъ при сжатіи и при растяженіи. Въ дѣйствительности дѣло происходитъ

не такъ, а потому гипотеза эта не можетъ быть принята.

Mèlan не допускаетъ равенства коэффиціентовъ упругости бетона при сжатіи и растяженіи и считаетъ кривую $M''ON''$ состоящей изъ двухъ прямыхъ OM'' и ON'' , неодинаково наклоненныхъ.

Coignet и de Tedesco вовсе не принимаютъ во вниманіе работы бетона въ вытянутой части бруса и законъ упругихъ силъ изображаютъ въ видѣ одной прямой OM'' .

Von Thullie даетъ коэффиціенту упругости бетона двѣ послѣдовательныя величины, соотвѣтствующія двумъ фазамъ, черезъ которыя про-



Фиг. 2.

прямыхъ $S''R''$ и $R''M''$ (фиг. 2).

Sanders за уравненіе кривой принимаетъ уравненіе Баха

$$\epsilon = \frac{1}{E_1} p^n,$$

въ которомъ ϵ —упругая деформация на единицу длины, p —сжатіе на единицу поверхности, E_1 и n —два коэффиціента, зависящіе отъ природы бруса.

Spitzer и Lütken полагаютъ, что OM'' и ON'' — параболы второго порядка.

Ritter пренебрегаетъ вытягивающими напряжениями въ бетонѣ ниже нейтральной оси и даетъ кривой OM'' очертаніе параболы.

Изъ этого обзора явствуется, что самой простой и самой вѣрной гипотезой слѣдуетъ считать ту, которая не принимаетъ во вниманіе растяженія бетона въ вытянутой части бруса и полагаетъ коэффициентъ упругости бетона при сжатіи постояннымъ.

4⁰ Въ дѣйствительности начальныя напряжения существуютъ и зависятъ отъ дѣйствія температуры, отъ условій, въ которыя поставленъ цементъ при схватываніи и отъ остающихся деформаций бетона.

Considère сдѣлалъ очень много опытовъ надъ измѣненіемъ объема желѣзо-бетонныхъ призмъ, происходящимъ при схватываніи на воздухѣ и въ водѣ, и констатировалъ, что желѣзо-бетонныя призмы претерпѣваютъ такія же измѣненія, какъ и призмы изъ простого бетона, только въ 4—5 разъ менѣе замѣтныя. Призмы безъ арматуры, сохранявшіяся въ прѣсной водѣ, удлинялись по вполнѣ правильному закону, на 1,5—2 миллиметра на метръ длины по истеченіи 2 — 3 лѣтъ; сохранявшіяся же на воздухѣ — сжимались, но не такъ правильно, при чемъ по истеченіи 2—3 лѣтъ сжатіе достигало 1,5—2 миллиметровъ на метръ длины.

Изъ этихъ опытовъ видно, что въ желѣзо-

-бетонномъ сооруженіи, возведенномъ подь водой, желѣзныя части вытянуты, а бетонныя—сжаты еще до приложенія груза, и наоборотъ, въ сооруженіи, возведенномъ на воздухѣ, желѣзныя части сжимаются, а бетонныя—вытягиваются во все время схватыванія.

На практикѣ подобные крайніе случаи не имѣютъ мѣста, такъ какъ обыкновенно схватываніе бетона происходитъ на воздухѣ, но во время схватыванія поддерживается извѣстная степень влажности; поэтому желѣзо-бетонныя сооружения, хотя и уменьшаются въ объемѣ, но не такъ сильно, какъ указываетъ Considère. Итакъ, напряженія въ вытянутыхъ частяхъ арматуры уменьшаются, а въ сжатыхъ — увеличиваются. Уменьшеніемъ первыхъ для большей безопасности пренебрегаютъ, а увеличеніе вторыхъ всегда настолько мало, что не достигаетъ допускаемаго предѣла, и его также можно не принимать во вниманіе.

Остающіяся деформации, согласно указаніямъ Nagel de la Noë, дѣйствительно, имѣютъ мѣсто въ желѣзо-бетонныхъ массахъ, но внутреннія силы, развивающіяся при этомъ, не имѣютъ большого значенія, а потому мы ихъ въ расчетъ брать не будемъ.

Теперь приступимъ къ изложенію способа расчета Кристофа.

Работы Кристофа.

I. Сжатіе.

Пусть прямой или кривой брусь произвольнаго сѣченія съ арматурой изъ круглаго желѣза подверженъ сжимающему усилию, дѣйствующему вдоль его оси. Въ результатѣ деформаций поперечное сѣченіе перемѣстится параллельно самому себѣ. Обозначимъ черезъ

P — сжимающее усилие;

Ω — площадь поперечнаго сѣченія всего бруса;

ω — площадь сѣченія бетона;

ω' — площадь сѣченія металла;

τ — сжимающее напряженіе въ бетонѣ;

τ' — сжимающее напряженіе въ металлѣ;

E — коэффициентъ упругости бетона при сжатіи;

E' — коэффициентъ упругости металла.

Усилие P выражается уравненіемъ:

$$(1) \quad P = \tau \omega + \tau' \omega' = \tau (\Omega - \omega') + \tau' \omega'.$$

Перемѣщенія бетона и металла одинаковы, а потому имѣемъ:

$$(2) \quad \frac{\tau'}{\tau} = \frac{E'}{E} = m$$

и, слѣдовательно,

$$(3) \quad P = \tau [\Omega + (m-1) \omega']$$

$$(4) \quad \tau' = m \tau$$

Если Ω и ω' извѣстны, то получаемъ непосредственно

$$(5) \quad \tau = \frac{P}{\Omega + (m - 1) \omega'}$$

$$(6) \quad \tau' = \frac{Pm}{\Omega + (m - 1) \omega'}$$

Наоборотъ, если требуется опредѣлить Ω и ω' , имѣемъ отношеніе

$$(7) \quad \Omega + (m - 1) \omega' = \frac{P}{\tau}$$

Для рѣшенія задачи необходимо еще одно уравненіе, связывающее Ω и ω' . Обыкновенно задаются величиной отношенія

$$8) \quad \frac{\omega'}{\Omega} = \bar{\omega},$$

называемой *процентнымъ содержаніемъ металла*.

Итакъ,

$$(9) \quad \Omega = \frac{P}{\tau [1 + (m - 1) \bar{\omega}]}$$

Такимъ образомъ желѣзо-бетонный брусъ можно разсчитать какъ однородное тѣло, подверженное единичному сжатію, равному

$$\tau [1 + (m - 1) \bar{\omega}].$$

Въ томъ случаѣ, когда сѣченіе арматуры не велико, можно безъ чувствительной погрѣшности въ формулахъ (5), (6) и (9) вмѣсто $m - 1$ взять m и замѣнить $\Omega - \omega'$ черезъ Ω .

II. Растяженіе.

Принимая во вниманіе вышеизложенныя гипотезы, предполагають, что въ желѣзо-бетонныхъ конструкціяхъ бетонъ на растяженіе не работаетъ, а потому дѣйствуютъ такъ, какъ будто бы арматура выдерживаетъ одна всю нагрузку. Обозначивъ вытягивающую силу черезъ T , получимъ просто

$$(10) \quad T = \tau' \omega'.$$

III. Простой изгибъ.

Разсмотримъ брусъ прямоугольнаго сѣченія. Обозначимъ черезъ

M — изгибающій моментъ относительно рассматриваемаго сѣченія;

ω' — площадь сѣченія металла въ вытянутой части арматуры;

ω'_1 — площадь сѣченія металла въ сжатой части арматуры;

p — наибольшее напряженіе въ бетонѣ, развивающееся отъ дѣйствія изгибающаго момента.

τ' — среднюю величину напряженія въ вытянутой части арматуры.

τ'_1 — среднюю величину напряженія въ сжатой части арматуры;

τ'_m и τ'_{1m} — наибольшія напряженія въ соответствующихъ частяхъ арматуры;

a — разстояніе крайняго сжатого волокна бруса отъ нейтральной оси FF ;

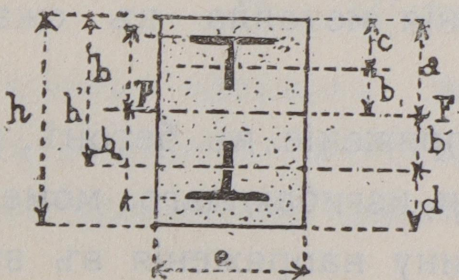
b и b_1 — соотвѣтствующія разстоянія среднихъ линій *) вытянутой и сжатой частей арматуры отъ нейтральной оси бруса;

b_m и b_{1m} — разстоянія крайнихъ волоконъ соотвѣтствующихъ частей арматуры отъ нейтральной оси FF ;

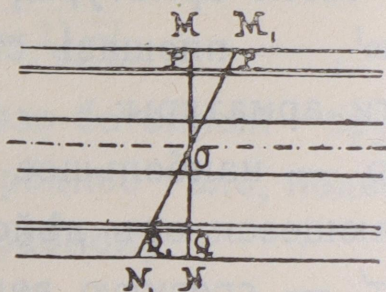
i' и i'_1 — моменты инерцій вытянутой и сжатой частей арматуры относительно ихъ средней линіи.

Простой изгибъ является результатомъ дѣйствія внѣшнихъ силъ, нормальныхъ къ нейтральной оси. Подъ вліяніемъ ихъ въ частяхъ бруса, лежащихъ выше нейтральной оси, развиваются сжимающія усилія, воспринимаемые бетономъ и арматурой, а въ лежащихъ ниже нейтральной оси—вытягивающія усилія, воспринимаемые только арматурой.

Горизонтальная проекція внѣшнихъ силъ равна



Фиг. 3.



Фиг. 4.

нулю (фиг. 3 и 4), а продольныя напряженія, дѣйствующія въ рассматриваемомъ поперечномъ

*) т. е. линій, проходящихъ черезъ центръ тяжести.

сѣченіи, взаимно уравниваются; слѣдовательно, можно написать

$$(11) \quad \frac{1}{2} p a e - p \frac{b_1}{a} \omega'_1 + \tau'_1 \omega'_1 - \tau' \omega' = 0.$$

Изгибающій моментъ M внѣшнихъ силъ равенъ моменту внутреннихъ силъ. Опредѣлимъ послѣдній относительно нейтральной оси:

$$(12) \quad \left\{ \begin{aligned} M = & \frac{2}{3} a \times \frac{1}{2} p a e - \frac{p \omega'_1 b_1^2}{a} - \frac{p i_1}{a} + \\ & + \tau'_1 \omega'_1 b_1 + \frac{\tau'_1 i'_1}{b_1} + \tau' \omega' b + \frac{\tau' i'}{b}. \end{aligned} \right.$$

Сѣченіе MN остается плоскимъ и въ положеніи $M_1 N_1$ во все время деформации, а потому имѣемъ

$$\frac{MM_1}{OM} = \frac{PP_1}{OP} = \frac{QQ_1}{OQ} \text{ или}$$

$$\frac{p}{E} = \frac{\tau'}{E'} = \frac{\tau'_1}{E' b_1},$$

что даетъ въ силу уравненія (2)

$$(13) \quad \tau' = p m \frac{b}{a} \quad \text{и}$$

$$(14) \quad \tau'_1 = p m \frac{b_1}{a}.$$

Подставивъ полученныя значенія τ' и τ'_1 въ уравненія (11) и (12), будемъ имѣть

$$(15) \quad \frac{1}{2} a^2 e + (m - 1) b_1 \omega'_1 - m \omega' b = 0$$

и

$$(16) \quad p = \frac{Ma}{I}, \text{ гдѣ}$$

$$(17) \quad \left\{ I = \frac{1}{3} a^3 e + (m - 1) (\omega'_1 b_1^2 + i'_1) + \right. \\ \left. + m (\omega' b^2 + i'). \right.$$

Наибольшія напряженія въ частяхъ арматуры опредѣляются изъ уравненій

$$(18) \quad \tau'_m = pm \frac{b_m}{a} = m M \frac{b_m}{I}$$

$$(19) \quad \tau'_{1m} = pm \frac{b_{1m}}{a} = m M \frac{b_{1m}}{I}.$$

Къ этимъ уравненіямъ можно еще добавить

$$(20) \quad a + b = h' = h - d$$

и

$$(21) \quad b_1 = a - c.$$

Уравненіе (15) даетъ положеніе нейтральной оси. Въ самомъ дѣлѣ изъ уравненій (20) и (21) имѣемъ

$$b = h - d - a$$

$$b_1 = a - c;$$

подставляя въ уравненіе (15), получаемъ

$$\frac{1}{2} a^2 e + (m - 1)(a - c)\omega'_1 - m\omega' (h - d - a) = 0,$$

откуда

$$e a^2 + 2 [(m - 1) \omega'_1 + m \omega'] a - 2 [(m - 1) \omega'_1 c + \\ + m \omega' (h - d)] = 0,$$

что даетъ

$$(22) \quad a = - \frac{(m-1)\omega'_1 + m\omega'}{e} + \\ + \sqrt{\frac{[(m-1)\omega'_1 + m\omega']^2}{e^2} + 2 \frac{[(m-1)\omega'_1 c + m\omega'(h-d)]}{e}}.$$

Итакъ, „а“ есть функція элементовъ сѣченія и т.

Замѣняя „а“ его полученною величиною, b и b_1 соотвѣтствующими имъ значеніями, можемъ опредѣлить нормальныя напряженія при помощи формулъ (16), (13) и (14).

Точно также, если извѣстна одна изъ величинъ p , τ' , τ'_1 для рассматриваемаго бруса, легко вычислить изгибающій моментъ M .

Если арматура имѣется лишь въ вытянутомъ поясѣ бруса, въ предыдущихъ формулахъ нужно принять $\tau'_1 = 0$ и $\omega'_1 = 0$.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда арматура имѣетъ небольшую площадь сѣченія, формулы (15), (16), (17), (18), (19) упрощаются. Имѣемъ

$$(23) \quad \frac{1}{2} a^2 e + m (\omega'_1 b_1 - \omega' b) = 0$$

$$(24) \quad p = M \frac{a}{I}, \text{ при}$$

$$(25) \quad I = \frac{1}{3} a^3 e + m (\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)$$

$$(26) \quad \tau' = p m \frac{b}{a} = m M \frac{b}{I}$$

$$(27) \quad \tau'_1 = p m \frac{b_1}{a} = m M \frac{b_1}{I}$$

Наконецъ „а“ въ данномъ случаѣ получается изъ уравненія

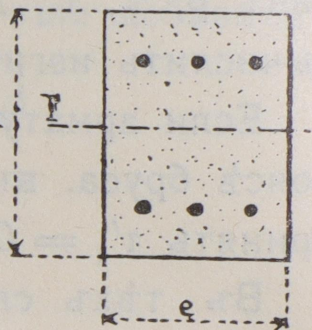
$$(28) \left\{ \begin{aligned} a = & - \frac{m(\omega'_1 + \omega')}{e} + \\ & + \sqrt{\frac{m^2(\omega'_1 + \omega')^2}{e^2} + \frac{2m}{e}(\omega'_1 c + \omega' h')}. \end{aligned} \right.$$

IV. Скалывающія усилія.

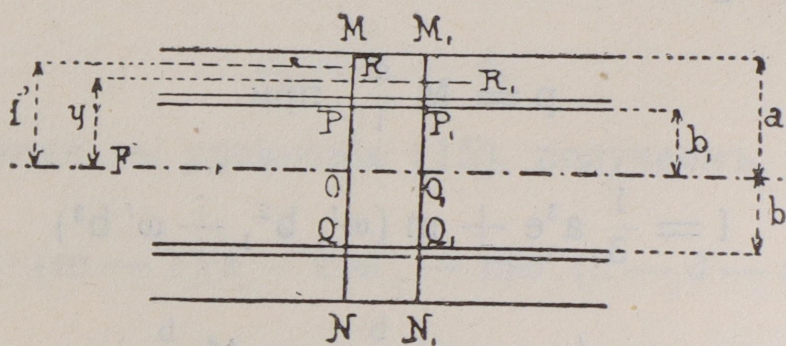
Какъ для опредѣленія продольныхъ напряженій, такъ и здѣсь не будемъ принимать въ расчетъ работы бетона въ вытянутомъ поясѣ бруса.

Разсмотримъ сначала случаи (фиг. 5 и 6), когда балка усилена просто прямыми прутьями и не имѣетъ въ арматурѣ специальныхъ приспособленій противъ скалывающихъ усилій.

Пусть MN и M_1N_1 (фиг. 6) — два бесконечно-близкія другъ къ другу сѣченія рассматриваемаго нами бруса. Разсѣчемъ призму MN . N_1M_1 плоскостью RR_1 , парал-



Фиг. 5.



Фиг. 6.

лельною нейтральной оси FF , и будемъ эту плоскость постепенно опускать отъ MM_1 къ NN_1 .

Предположимъ сначала, что плоскость RR_1 расположена выше верхней части арматуры; тогда касательное усилие равно и прямо противоположно разности равнодѣйствующихъ нормальныхъ силъ, дѣйствующихъ на части сѣченій MR и M_1R_1 . Для какой-либо точки, лежащей выше нейтральной оси на разстояніи y' , будемъ имѣть сжатіе $p_{y'}$, равное

$$(29) \quad p_{y'} = \frac{p_{y'}}{a} = \frac{My'}{I}, \text{ и}$$

$$(30) \quad \theta_y = \frac{K}{Ie} \int_y^a y' d\Omega = \frac{K}{2I} (a^2 - y^2),$$

гдѣ K есть перерѣзывающая сила.

При опусканіи плоскости RR_1 до уровня верхней части арматуры, скалывающее усилие возрастаетъ отъ нуля до величины

$$(31) \quad \theta_{b_1} = \frac{K}{2I} (a^2 - b_1^2),$$

а на уровнѣ арматуры сразу увеличивается на разность продольныхъ напряженій въ точкахъ прутьевъ P и P_1 , опредѣляемую изъ уравненія (27) путемъ его дифференцированія

$$\frac{d\tau'_1}{dx} dx\omega'_1 = \frac{dM}{dx} \cdot \frac{mb_1}{I} dx\omega'_1 = \frac{Kmb_1}{I} dx\omega'_1,$$

откуда

$$(32) \quad \theta'_{b_1} = \frac{K}{Ie} \left[\frac{e}{2} (a^2 - b_1^2) + m b_1 \omega'_1 \right].$$

При дальнѣйшемъ пониженіи плоскости RR_1 скалывающее напряженіе возрастаетъ по мѣрѣ уменьшенія „у“ согласно формулы:

$$(33) \quad \theta_y = \frac{K}{I_e} \left[\frac{e}{2} (a^2 - y^2) + m b_1 \omega'_1 \right]$$

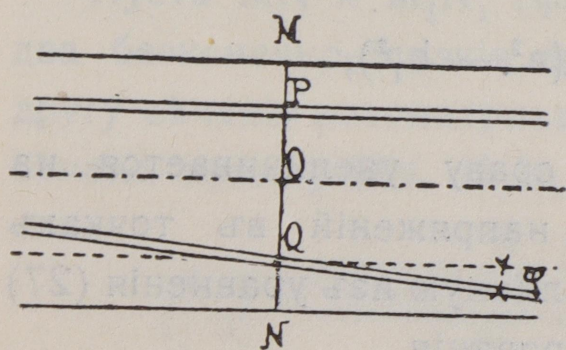
и достигаетъ наибольшей величины

$$(34) \quad \theta_0 = \frac{K}{I_e} \left[\frac{e}{2} a^2 + m b_1 \omega'_1 \right],$$

при положеніи плоскости RR_1 на уровнѣ нейтральной оси. Въ силу уравненія (23), предыдущее равенство можно написать въ видѣ

$$(35) \quad \theta_0 = \frac{K}{I_e} m b \omega'.$$

Какъ только плоскость RR_1 спускается ниже нейтральной оси, θ_y становится постоянной и равной θ_0 , такъ какъ, согласно нашимъ предпо-



Фиг. 7.

ложеніямъ, въ вытянутомъ поясѣ бруса продольныя напряженія въ бетонѣ равны нулю.

Предполагаемъ теперь, что сжатая часть арматуры остается прямой, а вытянутая —

пересѣкаетъ рассматриваемое сѣченіе MN подѣ угломъ φ .

Пусть (фиг. 7):

K — перерѣзывающая сила;

ω' — площадь сѣченія вытянутой части арматуры;

τ'_c — усилие въ вытянутой части арматуры;

τ' — горизонтальная составляющая усилія τ'_c .

Всѣ вышеприведенныя уравненія (23), (24), (25), (26), (27) и (28) могутъ быть примѣнены и къ этому случаю. Дѣйствительное напряженіе въ арматурѣ будетъ

$$(36) \quad \tau'_c = \frac{\tau'}{\cos \varphi}.$$

Проектируя на вертикальную плоскость всѣ внутреннія и внѣшнія силы, передаваемыя сѣченіемъ MN отъ лѣвой части бруса къ правой, получимъ

$$(37) \quad K = \int_0^{\Omega'} \theta_y d\omega' + \tau'_c \omega' \sin \varphi,$$

что даетъ

$$(38) \quad \int_0^{\Omega} \theta_y d\omega' = K' = K - \tau'_c \omega' \sin \varphi = K - \tau' \omega' \operatorname{tg} \varphi.$$

K' представляетъ собою перерѣзывающую силу, дѣйствующую въ рассматриваемомъ сѣченіи, и остается, слѣдовательно, въ формулахъ (30), (31), (32), (33), (34) и (35) подставить только вмѣсто $K - K'$.

Если въ рассматриваемомъ брусѣ металлическая арматура имѣется только въ вытянутомъ поясѣ, вышеприведенныя формулы упрощаются;

для преобразованія ихъ достаточно приравнять ω'_1 и τ'_1 нулю.

Для расчета продольныхъ напряженій имѣемъ

$$(39) \quad \frac{1}{2} a^2 e - m \omega' b = 0$$

$$(40) \quad p = M \frac{a}{I}$$

$$(41) \quad I = \frac{1}{3} a^3 e + m \omega' b^2$$

$$(42) \quad \tau' = p m \frac{b}{a} = m M \frac{b}{I}$$

$$(43) \quad M = \frac{p}{a} I = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{3} a^3 e + m \omega' b^2 \right] = \frac{p a e}{6} (3h' - a),$$

памятуя, что

$$(44) \quad a + b = h' = h - d.$$

Положеніе нейтральной оси опредѣляется формулой

$$(45) \quad a = - \frac{m \omega'}{e} + \sqrt{\frac{m^2 \omega'^2}{e} + 2 \frac{m \omega' h'}{e}}.$$

Въ сооруженіи, имѣющемъ опредѣленные размѣры, p и τ' можно разсчитать по формуламъ:

$$(46) \quad p = \frac{6 M}{a e (3h' - a)} \quad \text{и}$$

$$(47) \quad \tau' = \frac{6 b m M}{a^2 e (3h' - a)};$$

при проектированіи же желѣзо-бетонныхъ конструкций ихъ разсчитываютъ такимъ образомъ,

чтобы напряженія въ бетонѣ и металлѣ были близки къ допускаемымъ предѣламъ, и, слѣдовательно, p и τ' оказываются уже извѣстными. Въ этомъ случаѣ поступаютъ такъ:

Уравненіе (42) даетъ

$$(48) \quad b = \frac{a \tau'}{p m},$$

а (43) въ силу формулы (39) обращается въ

$$\begin{aligned} M &= \frac{p}{a} \left(\frac{1}{3} a^3 e + \frac{1}{2} a^2 e b \right) = \frac{p a e}{6} (2 a + 3 b) = \\ &= \frac{p a e}{6} \left(2 a + \frac{3 a \tau'}{p m} \right) = \frac{p a^2 e}{6} \left(2 + \frac{3 \tau'}{p m} \right), \end{aligned}$$

откуда

$$(49) \quad a = \sqrt{\frac{6 M}{p e \left(2 + \frac{3 \tau'}{p m} \right)}} = \sqrt{\frac{6 m M}{e (2 p m + 3 \tau')}};$$

формулу (42) можно написать иначе такъ:

$$\tau' = p m \frac{h' - a}{a},$$

что даетъ

$$(50) \quad h' = a \left(1 + \frac{\tau'}{p m} \right) = \left(1 + \frac{\tau'}{p m} \right) \sqrt{\frac{6 m M}{e (2 p m + 3 \tau')}}.$$

Площадь ω' опредѣлится изъ уравненія

$$(51) \quad \omega' = \frac{p a e}{2 \tau'} = \frac{1}{\tau'} \sqrt{\frac{3 p^2 e m M}{2 (2 p m + 3 \tau')}}.$$

Разсмотримъ теперь случай, когда желѣзо-бетонный брусъ имѣетъ специальную арматуру

для противодѣйствія скалывающимъ усиліямъ. Плоскость RR_1 , на которую дѣйствуютъ касательныя усилія, можетъ при этомъ пересѣкаться арматурой, что видоизмѣняетъ работу системы.

Скалывающія усилія распредѣляются на бетонъ и на металлъ, но обыкновенно предполагаютъ, что только одна арматура должна сопротивляться перерѣзывающему усилію.

Обозначимъ черезъ ΔM измѣненіе изгибающаго момента на рассматриваемомъ протяженіи и черезъ σ — сѣченіе арматуры, играющей здѣсь роль подвѣски. Наибольшее скалывающее напряженіе металла будетъ

$$(52) \quad \theta_m = \frac{\Delta M}{I \sigma} m b \omega'.$$

Формула эта замѣняетъ собою формулу (35).

Въ случаѣ кривой арматуры въ этой послѣдней формулѣ ΔM надо замѣнить черезъ

$$\Delta M = \int_0^{\Delta x} \tau' \omega' \operatorname{tg} \varphi \, dx,$$

или

$$\Delta M = \tau' \omega' \Delta x \operatorname{tg} \varphi,$$

гдѣ Δx — рассматриваемая длина, τ' — напряженіе въ арматурѣ, а φ — уголъ пересѣченія арматуры съ подвѣской.

Если брусъ имѣетъ арматуру только въ вытянутомъ поясѣ, то скалывающее усиліе въ сжатой части его измѣняется отъ нуля до величины

$$(53) \quad \theta_0 = \frac{K}{I_e} \cdot \frac{a^2 e}{2},$$

получаемой изъ уравненія (34) путемъ подстановки вмѣсто ω'_1 — нуля, а въ вытянутой — остается постоянной и равной θ_0 .

Если арматура кривая, достаточно въ уравненіи (53) замѣнить K черезъ

$$(54) \quad K' = K - \tau' \omega' \operatorname{tg} \varphi.$$

При наличности подвѣсокъ или поперечныхъ связей величина напряженія металла на перерѣзъиваніе опредѣляется уравненіемъ

$$(55) \quad \theta_m = \frac{\Delta M}{I \sigma} m b \omega' = \frac{\Delta M}{\sigma} \times \frac{\frac{1}{2} a^2 e}{\frac{1}{3} a^3 e + \frac{1}{2} a^2 e b} =$$

$$= \frac{\Delta M}{\sigma \left(h' - \frac{a}{3} \right)},$$

если арматура прямая; въ противномъ случаѣ ΔM нужно замѣнить черезъ

$$\Delta M - \tau' \omega' \Delta x \operatorname{tg} \varphi,$$

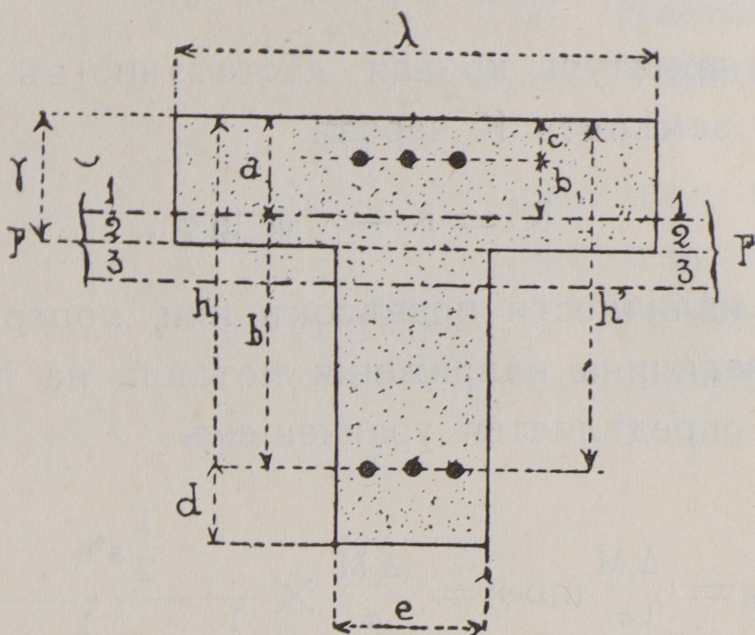
что даетъ

$$(56) \quad \theta_m = \frac{\Delta M - \tau' \omega' \Delta x \operatorname{tg} \varphi}{\sigma \left(h' - \frac{a}{3} \right)}.$$

Балки въ видѣ Т. — Пусть въ балкѣ таврового сѣченія ширина пояса равна λ , а толщина его — γ . Предположимъ, что ребро балки

лежить ниже пояса, и что оно вытянуто, а пояс сжать.

1⁰ Если нейтральная ось FF (фиг. 8) проходить выше внутренней грани пояса, то случай



Фиг. 8.

этотъ ничѣмъ не отличается отъ прямоугольнаго сѣченія шириною λ , и формулы будутъ таковы:

$$(57) \quad \frac{1}{2} a^2 \lambda + m (\omega'_1 b_1 - \omega' b) = 0,$$

$$(58) \quad p = M \frac{a}{I},$$

$$(59) \quad I = \frac{1}{3} a^3 \lambda + m (\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2),$$

$$(60) \quad \tau' = p m \frac{b}{a} = m M \frac{b}{I},$$

$$(61) \quad \tau'_1 = p m \frac{b_1}{a} = m M \frac{b_1}{I},$$

$$(62) \quad a + b = h' = h - d,$$

$$(63) \quad b_1 = a - c.$$

2° Если нейтральная ось FF лежитъ на уровнѣ внутренней грани пояса, то въ предыдущихъ формулахъ достаточно принять

$$a = \gamma;$$

3° Если нейтральная ось FF расположена ниже пояса, то формулы (57) и (59) должны быть замѣнены слѣдующими:

$$(64) \quad \frac{1}{2} a^2 \lambda - \frac{1}{2} (a - \gamma)^2 (\lambda - e) + m (\omega'_1 b_1 - \omega' b) = 0$$

и

$$(65) \quad I = \frac{1}{3} a^3 \lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma)^3 (\lambda - e) + m (\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2),$$

а другія уравненія остаются тѣ же.

Если желаютъ опредѣлить напряженія, развивающіяся въ данномъ сѣченіи балки при определенной нагрузкѣ подѣ дѣйствіемъ изгибающаго момента М, то вычисляютъ сначала „а“ по слѣдующей формулѣ:

$$(66) \quad a = - \frac{m (\omega'_1 + \omega')}{\lambda} + \sqrt{\frac{m^2 (\omega'_1 + \omega')^2}{\lambda^2} + \frac{2m}{\lambda} (\omega'_1 c + \omega' h')}.$$

При этомъ можетъ представиться два случая:
1° полученная отсюда величина \leq или $= \gamma$ — остаются на вычисленномъ значеніи „а“ и на-
ходятъ:

$$(67) \quad \tau' = \frac{Mmb}{\frac{1}{3} a^3 \lambda + m (\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)}$$

$$(68) \quad \tau'_1 = \frac{Mmb_1}{\frac{1}{3} a^3 \lambda + m (\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)}$$

2⁰ *полученная величина больше γ — въ этомъ случаѣ вмѣсто формулы (66) нужно воспользо-ваться слѣдующей:*

$$(69) \quad \left\{ \begin{aligned} a = & -\frac{1}{e} [\gamma (\lambda - e) + m (\omega'_1 + \omega')] + \\ & + \sqrt{\frac{1}{e^2} [\gamma (\lambda - e) + m (\omega'_1 + \omega')]^2 +} \\ & + \frac{2}{e} \left[\frac{1}{2} \gamma^2 (\lambda - e) + m (\omega'_1 c + \omega' h') \right], \end{aligned} \right.$$

а затѣмъ

$$(70) \quad \tau' = \frac{Mmb}{\frac{1}{3} a^3 \lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma)^3 (\lambda - e) + m (\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)}$$

$$(71) \quad \tau'_1 = \frac{Mmb_1}{\frac{1}{3} a^3 \lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma)^3 (\lambda - e) + m (\omega'_1 b_1^2 + \omega' b^2)}.$$

При проектированіи, размѣрами балки задаются заранѣе и потомъ провѣряютъ ихъ расчетомъ.

При опредѣленіи скалывающихъ усилій пользуются только уравненіемъ

$$(72) \quad \theta_0 = \frac{K}{I_e} mb \omega',$$

а если есть въ балкѣ подвѣски, то ихъ рассчитываютъ по формулѣ

$$(73) \quad \theta_m = \frac{\Delta M}{I_G} m b \omega'.$$

Если балка усилена арматурой только въ вытянутой части, то вмѣсто формулъ (57), (59) (64), (65), (66), (69), (72) и (73), имѣемъ:

$$(74) \quad \frac{1}{2} a^2 \lambda - m \omega' b = 0,$$

$$(75) \quad \left\{ \begin{aligned} I &= \frac{1}{3} a^3 \lambda + m \omega' b^2 = \frac{1}{3} a^3 \lambda + \frac{1}{2} a^2 b \lambda = \\ &= \frac{1}{6} a^2 \lambda (2a + 3b) = \frac{a^2 \lambda}{6} (3h' - a), \end{aligned} \right.$$

$$(76) \quad \frac{1}{2} a^2 \lambda - \frac{1}{2} (a - \gamma)^2 (\lambda - e) - m \omega' b = 0,$$

$$(77) \quad I = \frac{1}{3} a^3 \lambda - \frac{1}{3} (a - \gamma)^3 (\lambda - e) + m \omega' b^2,$$

$$(78) \quad a = -\frac{m \omega'}{\lambda} + \sqrt{\frac{m^2 \omega'^2}{\lambda^2} + \frac{2m \omega' h'}{\lambda}},$$

когда $a \leq \gamma$, и

$$(79) \quad \left\{ \begin{aligned} a &= -\frac{1}{e} \left[\gamma (\lambda - e) + m \omega' \right] + \\ &+ \sqrt{\frac{1}{e^2} \left[\gamma (\lambda - e) + m \omega' \right]^2 +} \\ &+ \frac{2}{e} \left[\frac{1}{2} \gamma^2 (\lambda - e) + m \omega' h' \right]}, \end{aligned} \right.$$

когда $a > \gamma$. Наконецъ, для скалывающихъ напряженій имѣемъ:

на величину сжимаемой части пояса, и формулы (23), (25) преобразуются:

$$(82) \quad \frac{1}{2} a^2 e + \frac{1}{2} (a - \eta)^2 (\lambda - e) + \\ + m (\omega'_1 b_1 - \omega' b) = 0,$$

$$(83) \quad I = \frac{1}{3} a^3 e + \frac{1}{3} (a - \eta)^3 (\lambda - e) + \\ + m (\omega'_1 b^2 + \omega' b^2).$$

Если нейтральная ось занимает положение (1) или (2), наибольшее скалывающее усилие въ бетонъ дается формулой

$$(84) \quad \Theta_0 = \frac{K}{I_e} m b \omega'.$$

Если нейтральная ось занимает положение (3), предыдущая формула преобразуется въ

$$(85) \quad \Theta_0 = \frac{K}{I_\lambda} m b \omega'.$$

Наибольшее напряжение получается при этомъ не въ нейтральной плоскости, а на уровнѣ верхней грани пояса, гдѣ

$$(86) \quad \Theta_0 = \frac{K}{I_e} \left[m b \omega' - \frac{1}{2} (a - \eta)^2 e \right].$$

Для того случая, когда арматурой усиленъ только поясъ балки, имѣемъ:

$$(87) \quad \frac{1}{2} a^2 e + \frac{1}{2} (a - \eta)^2 (\lambda - e) - m \omega' b = 0$$

$$(88) \quad M = \frac{P}{6a} [(a^2 e (3h' - a) + (a - \eta)^2 (\lambda - e) (3h' - a - 2\eta'))].$$

V. Сложный изгибъ.

Предположимъ теперь, что внѣшнія силы дѣйствуютъ на желѣзо-бетонное тѣло подѣ нѣкоторымъ угломъ къ продольной его оси, прямой или кривой.

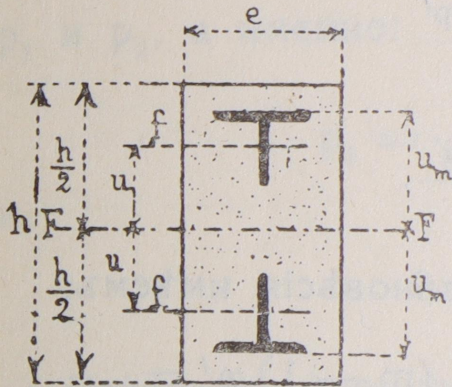
Для вывода формулъ въ данномъ случаѣ мы ограничимся лишь прямоугольными сѣченіями. Въ каждомъ изъ этихъ сѣченій дѣйствіе одной части тѣла на другую можетъ быть сведено къ одной силѣ F , приложенной въ центрѣ тяжести сѣченія бетона, и къ парѣ силъ K . Сила F можетъ быть разложена на двѣ: T —параллельную продольной оси, и N —нормальную къ ней. Составляющая T можетъ быть сжимающей или вытягивающей, но мы рассмотримъ только первый случай. Опытъ показываетъ, что величина N всегда незначительна, и въ большинствѣ случаевъ ею можно пренебрегать.

Допустимъ сначала (фиг. 10, 11, 12), что въ рассматриваемомъ сѣченіи MN дѣйствуютъ только сжимающія упругія силы. Напряженія бетона даются разстояніемъ отъ MN до $M_2 N_2$ въ трапеціи MNM_2N_2 . Пусть:

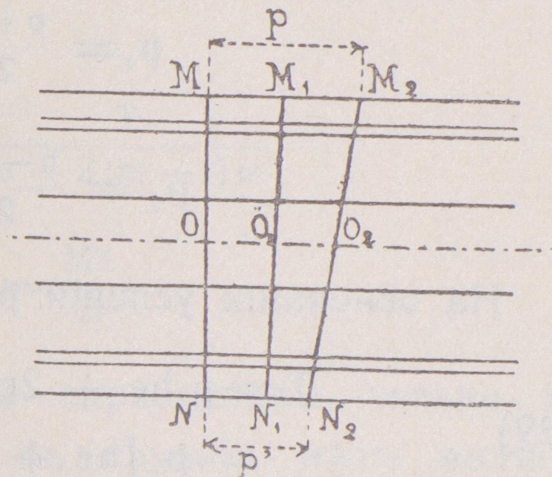
ω' — сѣченіе каждой группы металлическихъ стержней;

i — моментъ инерціи каждой группы относительно ея средней линіи f ;

p и p' — наибольшее и наименьшее напряженія въ бетонѣ;

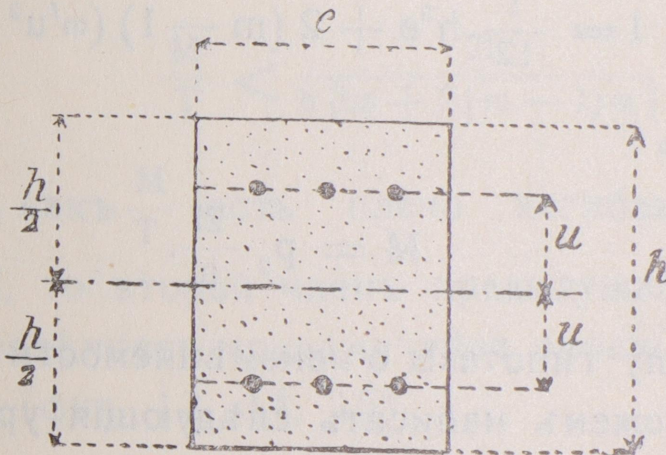


Фиг. 10.



Фиг. 11.

τ' и τ'_1 — среднія величины сжимающаго напряженія въ частяхъ арматуры мѣнѣ напряженной и болѣе напряженной;



Фиг. 12.

τ'_m и τ'_m — наибольшія напряженія въ той и другой частяхъ арматуры;

u — разстояніе средней лінії каждой части арматуры отъ центра тяжести сѣченія;

u_m — разстояніе крайнихъ волоконъ арматуры отъ того же центра.

Полагаемъ:

$$p_1 = \frac{p + p'}{2}$$

и

$$p_2 = \frac{p - p'}{2}.$$

На основаніи условій равновѣсія имѣемъ:

$$(89) \quad \begin{aligned} T &= p_1 h e + 2 p_1 (m - 1) \omega' = \\ &= p_1 [h e + 2 (m - 1) \omega'] \end{aligned}$$

и

$$(90) \quad M = \frac{1}{6} p_2 h^2 e + 4 p_2 \frac{m-1}{h} (\omega' u^2 + i).$$

Обозначивъ черезъ

$$(91) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + 2 (m - 1) (\omega' u^2 + i),$$

получаемъ

$$(92) \quad M = p_2 \frac{2I}{h}.$$

Въ силу гипотезы о неизмѣняемости плоскихъ сѣченій можемъ написать слѣдующія уравненія:

$$(93) \quad \tau' = m \left((p_1 - p_2 \frac{2u}{h}) \right),$$

$$(94) \quad \tau'_1 = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(95) \quad \tau'_m = m \left(p_1 - p_2 \frac{2u_m}{h} \right),$$

$$(96) \quad \tau'_{1m} = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u_m}{h} \right).$$

Изъ уравненій (89) и (92) можно опредѣлить p_1 и p_2 , а именно:

$$p_1 = \frac{T}{he + 2(m-1)\omega'}$$

и

$$p_2 = \frac{Mh}{2I}.$$

Всѣ эти формулы справедливы только въ томъ случаѣ, когда въ сѣченіи нѣтъ вытягивающихъ напряженій; слѣдовательно, должно имѣть мѣсто неравенство:

$$p_1 > p_2,$$

т. е.

$$\frac{T}{he + 2(m-1)\omega'} > \frac{Mh}{2I},$$

откуда

$$(97) \quad \frac{M}{T} < \frac{2I}{h[he + 2(m-1)\omega']}$$

Такъ какъ $\frac{M}{T}$ есть плечо изгибающаго момента M , то второй членъ предыдущаго неравенства опредѣляетъ *границу ядра сѣченія*.

Если (фиг. 13, 14, 15)

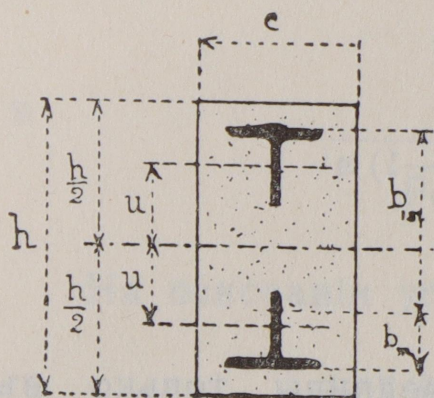
$$(98) \quad \frac{M}{T} > \frac{2I}{h[he + 2(m-1)\omega]''}$$

то это означаетъ, что въ разсматриваемомъ сѣченіи существуютъ растягивающія усилія. Пред-

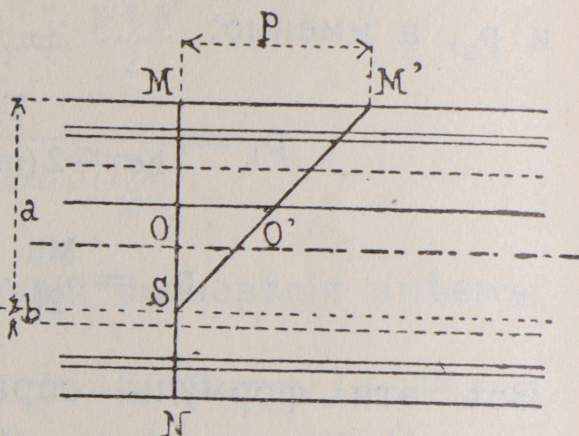
полагая, что эти усилія принимаются цѣликомъ нижней частью арматуры, имѣемъ:

$$(99) \quad T = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e + (m - 1) \omega' b_1 - m \omega' b \right]$$

и

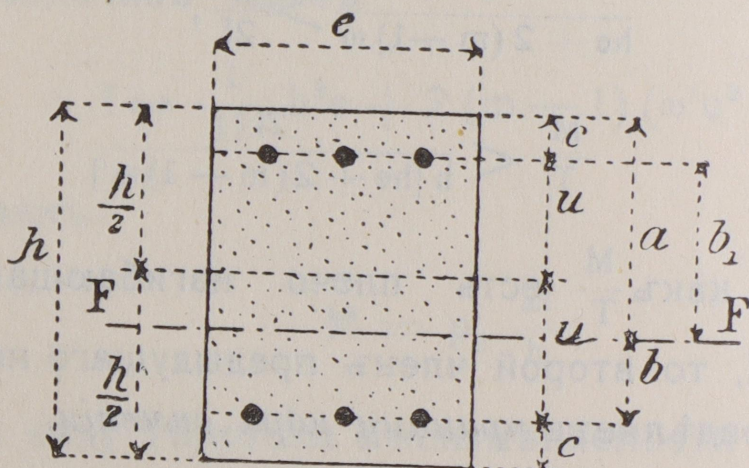


Фиг. 13.



Фиг. 14.

$$(100) \quad M = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{3} a \right) - (\omega' u b_1 + i) + 2m (\omega' u^2 + i) \right]$$



Фиг. 15.

и далѣе

$$(101) \quad I = \frac{1}{2} a^2 e \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{3} a \right) - (\omega' u b_1 + i) + 2m (\omega' u^2 + i)$$

$$(102) \quad \tau' = p \frac{mb}{a}$$

$$(103) \quad \tau'_1 = p \frac{mb_1}{a}$$

и

$$(104) \quad \tau'_m = p \frac{mb_m}{a}$$

$$(105) \quad \tau'_{1m} = p \frac{mb_{1m}}{a}.$$

Если арматура бруса имѣетъ сравнительно небольшіе размѣры и въ сѣченіи развиваются только сжимающія усилія, можно написать:

$$(106) \quad T = p_1 (he + 2m\omega')$$

$$(107) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + 2 m \omega' u^2$$

$$(108) \quad M = p_2 \frac{2I}{h},$$

и далѣе

$$(109) \quad \tau' = m \left(p_1 - p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(110) \quad \tau'_1 = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(111) \quad p = p_1 + p_2,$$

$$(112) \quad p' = p_1 - p_2$$

Уравненія (106) и (108) даютъ:

$$(113) \quad p_1 = \frac{T}{he + 2 m \omega'},$$

и

$$(114) \quad p_2 = \frac{Mh}{2I}.$$

Граница центрального ядра опредѣляется неравенствомъ

$$(115) \quad \frac{M}{T} < \frac{2I}{h(he + 2m\omega')};$$

если же, наоборотъ,

$$(116) \quad \frac{M}{T} > \frac{2I}{h(he + 2m\omega')},$$

примѣняются такія формулы:

$$(117) \quad T = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e + 2m\omega'(b_1 - b) \right],$$

$$(118) \quad M = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e \left(\frac{1}{2} h - \frac{1}{3} a \right) + 2m\omega' u^2 \right],$$

$$(119) \quad \tau' = p m \frac{b}{a},$$

$$(120) \quad \tau'_1 = p m \frac{b_1}{a}$$

Въ тѣхъ случаяхъ, когда брусъ имѣетъ только одну арматуру и въ сѣченіи развиваются только сжимающія усилія, имѣемъ такія формулы:

$$(121) \quad T = p_1 (he + m\omega') - p_2 \frac{2m\omega' u}{h}$$

$$(122) \quad M = p_2 \frac{2I}{h} - p_1 m\omega' u,$$

$$(123) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + m\omega' u^2,$$

при умові

$$(124) \quad \frac{M}{T} < \frac{2I - m\omega' u h}{h(he + m\omega') - 2m\omega' u}.$$

Если же въ сѣченіи развиваются и сжимающія и растягивающія усилія, то формулы будутъ таковы:

$$(125) \quad T = \frac{p}{a} \left(\frac{1}{2} a^2 e - m\omega' b \right),$$

$$(126) \quad M = \frac{p}{a} \left[\frac{1}{2} a^2 e \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + m\omega' bu \right],$$

$$(127) \quad \frac{M}{T} > \frac{2I - m\omega' u h}{h(he + m\omega') - 2m\omega' u}.$$

До сихъ поръ мы рассматривали только случаи симметричнаго расположенія арматуры. Если же это не такъ, то формулы видоизмѣняются. Изслѣдуемъ этотъ вопросъ для брусевъ съ незначительными размѣрами арматуры. Сохраняя прежнія обозначенія, на основаніи условій равновѣсія будемъ имѣть:

$$(128) \quad T = p_1 h e + \tau'_1 \omega'_1 + \tau' \omega'$$

и

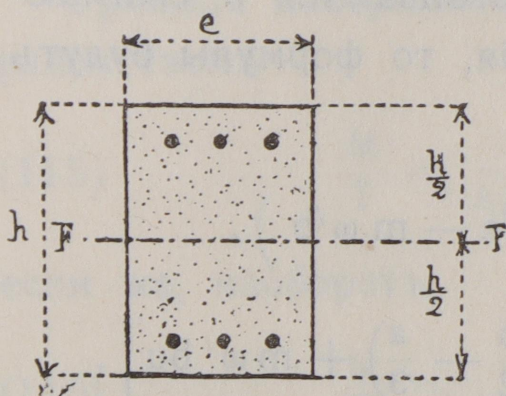
$$(129) \quad M = \frac{1}{6} p_2 h^2 e - \tau'_1 \omega'_1 u_1 - \tau' \omega' u.$$

На основаніи закона неизмѣняемости плоскихъ сѣченій, можемъ написать слѣдующія равенства (фиг. 16, 17, 18):

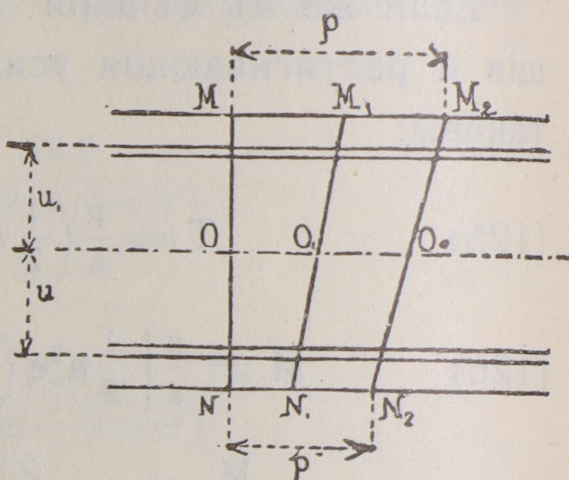
$$(130) \quad \tau' = m \left(p_1 - p_2 \frac{2u}{h} \right),$$

$$(131) \quad \tau'_1 = m \left(p_1 + p_2 \frac{2u_1}{h} \right),$$

гдѣ черезъ m обозначено отношеніе $\frac{E'}{E}$.

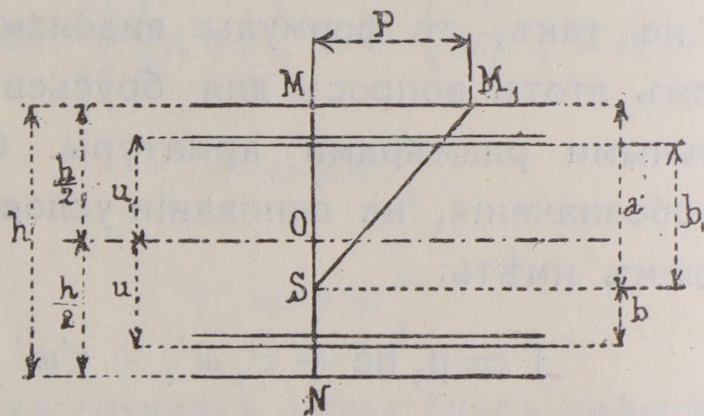


Фиг. 16.



Фиг. 17.

Подставляя полученныя значенія τ' и τ'_1 въ уравненія (128) и (129), имѣемъ:



Фиг. 18.

$$(132) \quad T = p_1 [he + m(\omega'_1 + \omega')] + \frac{2mp_2}{h} (\omega'_1 u_1 - \omega' u)$$

и

$$(133) \quad \left\{ \begin{aligned} M &= mp_1 (\omega'_1 u_1 - \omega' u) + p_2 \left[\frac{1}{6} h^2 e + \right. \\ &\quad \left. + 2 \frac{m}{h} (\omega'_1 u_1^2 + \omega' u^2) \right]. \end{aligned} \right.$$

Положивъ

$$(134) \quad I = \frac{1}{12} h^3 e + m (\omega'_1 u^2_1 + \omega' u^2),$$

$$(135) \quad A = h e + m (\omega'_1 + \omega'),$$

$$(136) \quad B = m (\omega'_1 u_1 - \omega' u),$$

формулы (132) и (133) можемъ написать такъ:

$$(137) \quad T = p_1 A + p_2 \frac{2B}{h},$$

$$(138) \quad M = p_1 B + p_2 \frac{2I}{h}.$$

Эти формулы примѣнимы только въ томъ случаѣ, если въ рассматриваемомъ сѣченіи не проявляются растягивающія усилія, т. е. если $p_1 > p_2$. Но

$$(139) \quad p_1 = \frac{IT - BM}{IA - B^2},$$

$$(140) \quad p_2 = \frac{h(AM - BT)}{2(IA - B^2)}$$

и, слѣдовательно, предыдущее условіе можетъ быть представлено въ видѣ

$$(141) \quad \frac{M}{T} < \frac{2I + Bh}{Ah + 2B}.$$

Если въ рассматриваемомъ сѣченіи проявляются растягивающія усилія, то получаемъ такіа формулы:

$$(142) \quad T = \frac{1}{2} p a e + \tau'_1 \omega'_1 - \tau' \omega',$$

$$(143) \quad M = \frac{1}{2} p a e \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + \tau'_1 \omega'_1 u_1 - \tau' \omega' u,$$

$$(144) \quad \tau' = p \frac{mb}{a},$$

$$(145) \quad \tau'_1 = p \frac{mb_1}{a},$$

и послѣ соотвѣтствующихъ подстановокъ

$$(146) \quad I = \frac{a^2 e}{2} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + m (\omega'_1 b_1 u_1 + \omega' b u),$$

$$(147) \quad T = \frac{p}{a} \left[\frac{a^2 e}{2} + m (\omega'_1 b_1 - \omega' b) \right],$$

$$(148) \quad M = \frac{p}{a} \left[a^2 e \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{3} \right) + m (\omega'_1 b_1 u_1 + \omega' b u) \right] = \frac{pI}{a}.$$

Работы Lefort'a.

Инженеръ Lefort въ основу своихъ расчетовъ желѣзо-бетонныхъ балокъ полагаетъ общеизвѣстныя формулы. Онъ принимаетъ гипотезу неизмѣняемости плоскихъ сѣченій при изгибѣ и допускаетъ, что коэффициентъ упругости бетона одинаковъ при сжатіи и растяженіи и не измѣняется въ предѣлахъ, обычныхъ встрѣчающихся на практикѣ, нагрузокъ.

Мы должны однако тутъ же указать, что опыты Rabut, Considère и Harel de la Noë не подтверждаютъ этихъ гипотезъ. Тѣмъ не менѣе работами Lefort'a руководятся очень многіе строители.

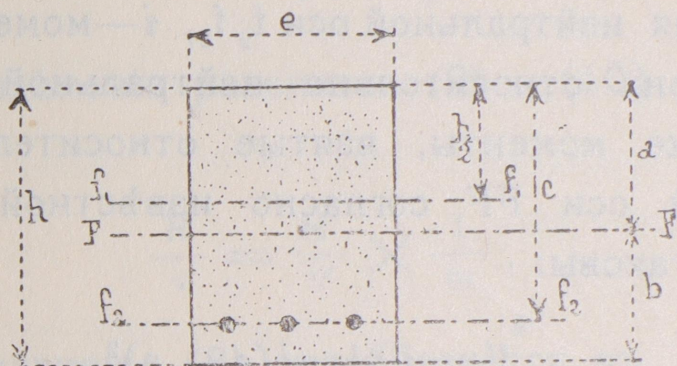
Пусть (фиг. 19) балка сѣченіемъ

$$(1) \quad \Omega = eh,$$

имѣетъ арматуру изъ брусковъ площадью ω' .

Обозначимъ черезъ $f_1 f_1$ — нейтральную ось бетона, $f_2 f_2$ — ось металла и FF — всей балки въ ея цѣломъ.

Какъ и раньше, E и E' будутъ соответствен-



Фиг. 19.

ные коэффициенты упругости бетона и металла.

Полагаемъ

$$(2) \quad \frac{E'}{E} = m.$$

Площадь

$$(3) \quad S = m\omega' + eh,$$

будетъ эквивалентна однородной площади, имѣющей плотность бетона, взятую за единицу, при допущеніи пропорціональности площадей коэффициентамъ упругости.

Возьмемъ статическій моментъ поперечнаго

сѣченія относительно верхняго горизонтальнаго ребра балки. Получимъ

$$(4) \quad (m \omega' + eh) a = m \omega' c + eh \frac{h}{2},$$

откуда

$$(5) \quad a = \frac{2 m \omega' c + eh^2}{2 m \omega' + 2 eh} = \frac{h}{2} + \frac{m \omega' (2 c - h)}{2 (m \omega' + eh)}$$

Если i' — моментъ инерціи арматуры относительно ея нейтральной оси $f_2 f_2$, i — моментъ инерціи бетона относительно нейтральной оси $f_1 f_1$, то тѣ же моменты, взятые относительно нейтральной оси FF согласно извѣстной теоремы будутъ таковы:

$$(6) \quad I' = i' + \omega' (c - a)^2,$$

$$(7) \quad I = i + eh \left(a - \frac{h}{2} \right)^2.$$

Вычислимъ теперь изгибающій моментъ балки. Пусть

M — изгибающій моментъ;

ρ — радіусъ кривизны нейтральной оси FF послѣ деформаціи;

v' — разстояніе наиболѣе удаленнаго волокна арматуры отъ FF;

v — разстояніе наиболѣе удаленнаго волокна бетона отъ FF;

R' — прочное сопротивленіе металла на единицу поверхности;

R — прочное сопротивленіе бетона.

На основаніи принципа суммированія дѣйствія отдѣльныхъ силъ, можно написать:

$$(8) \quad M = \frac{R' I'}{v'} + \frac{R I}{v}.$$

Но

$$(9) \quad \frac{R'}{v'} = \frac{E'}{\rho},$$

$$(10) \quad \frac{R}{v} = \frac{E}{\rho},$$

и по раздѣленіи равенствъ (9) и (10) одно на другое

$$\frac{R}{v} = \frac{R'}{v'} \times \frac{1}{m},$$

почему уравненіе (8) преобразуется въ

$$(11) \quad M = \frac{R'}{v' m} (m I' + I).$$

Рѣшая его относительно R' , получимъ

$$(12) \quad R' = \frac{M m v'}{m I' + I}$$

и далѣе

$$(13) \quad R = \frac{M v}{m I' + I}.$$

Формулы (12) и (13) подобны общеизвѣстной формулѣ $R = \frac{M v}{I}$ для случая однородной балки, только вмѣсто I нужно подставить $m I' + I$.

Въ томъ случаѣ, когда нейтральныя оси совпадаютъ, т. е.

$$a = c = \frac{h}{2}$$

формулы (12) и (13) замѣняются

$$(14) \quad R' = \frac{Mm v'}{m i' + i}$$

и

$$(15) \quad R = \frac{M v}{m i' + i}.$$

Перерѣзывающая сила A для даннаго сѣченія складывается изъ

$$\frac{A}{S} m \omega' \text{ — для металла}$$

и

$$\frac{A}{S} e h \text{ — для бетона}$$

и даетъ на единицу поверхности усиліе $\frac{A}{S} m$ въ металлѣ и $\frac{A}{S}$ въ бетонѣ. Эти усилія необходимо прибавить къ напряженіямъ отъ изгибающаго момента и принимать во вниманіе при расчетахъ.

Lefort'омъ разсмотрѣно нѣсколько частныхъ случаевъ:

1^o Арматура состоитъ изъ круглыхъ одинаковаго діаметра брусковъ, погруженныхъ въ бетонную прямоугольную балку. Пусть n — число круглыхъ брусковъ радіусомъ r ;

$\frac{\eta}{2}$ разстояніе ихъ оси отъ оси симметріи сѣченія.

Принявъ во вниманіе, что

$$\omega' = n \pi r^2, \text{ и}$$

$$c = \frac{1}{2}(\eta + h),$$

или что то же

$$2c - h = \eta,$$

можемъ написать

$$(16) \quad S = m n \pi r^2 + eh,$$

$$(17) \quad a = \frac{h}{2} + \frac{m n \pi r^2 \eta}{2(m n \pi r^2 + eh)}.$$

Затѣмъ:

$$i' = \frac{n \pi r^4}{4} \quad \text{и} \quad i = \frac{eh^3}{12},$$

и, слѣдовательно,

$$(18) \quad \left\{ \begin{aligned} I' &= \frac{n \pi r^4}{4} + n \pi r^2 \left(\frac{\eta + h}{2} - a \right)^2 = \\ &= n \pi r^2 \left[\frac{r^2}{4} + \left(\frac{\eta + h}{2} - a \right)^2 \right], \end{aligned} \right.$$

$$(19) \quad \left\{ \begin{aligned} I &= \frac{eh^3}{12} + eh \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 = \\ &= eh \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right]. \end{aligned} \right.$$

Наконецъ, дѣйствующія напряженія R и R' выразятся такимъ образомъ:

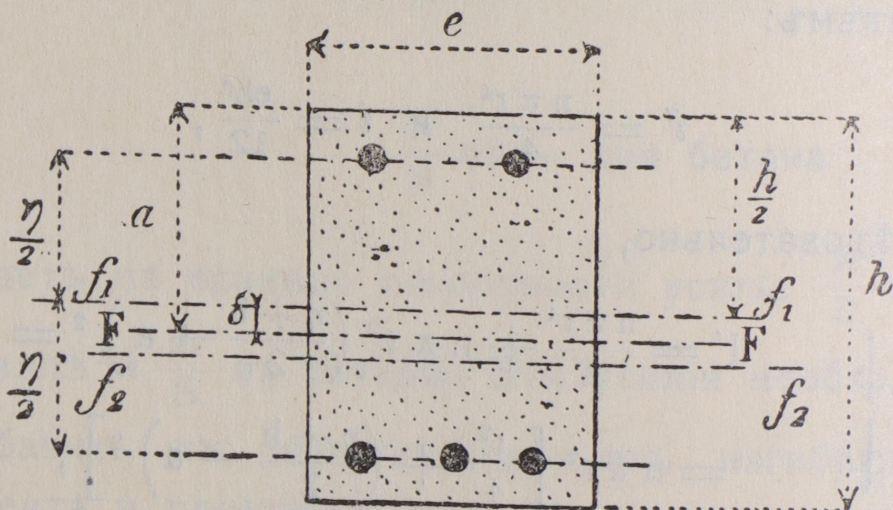
$$(20) R' = \frac{M m \nu'}{m n \pi r^2 \left[\frac{r^2}{4} + \left(\frac{\eta + h}{2} - a \right)^2 \right] + e h \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right]},$$

$$(21) R = \frac{M \nu}{m n \pi r^2 \left[\frac{r^2}{4} + \left(\frac{\eta + h}{2} - a \right)^2 \right] + e h \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right]}.$$

Наибольшія значенія R и R' получатся по подстановкѣ вмѣсто ν' величины $\frac{\eta + h}{2} - a + r$, и вмѣсто $\nu - a$.

Знаками величинъ R и R' опредѣляются случаи сжатія и растяженія.

2° Бруски помѣщены по одну и другую сторону плоскости симметріи, но на одинаковомъ отъ нея разстояніи.



Фиг. 20,

Пусть (фиг. 20) n будетъ число нижнихъ брусковъ и n' — верхнихъ, при чемъ всѣ они одинаковаго радіуса r .

Получаемъ такія формулы;

$$\omega' = (n + n') \pi r^2,$$

$$(22) \quad S = m (n + n') \pi r^2 + eh,$$

$$(23) \quad a = \frac{m \pi r^2 \left[n \frac{h + \eta}{2} + n' \frac{h - \eta}{2} \right] + \frac{eh^2}{2}}{m (n + n') \pi r^2 + eh};$$

затѣмъ

$$i' = (n + n') \pi \frac{r^4}{4},$$

$$i = \frac{eh^3}{12};$$

и, наконецъ,

$$(24) \quad \begin{cases} I' = (n + n') \pi \frac{r^4}{4} + n \pi r^2 \left(\frac{h + \eta}{2} - a \right)^2 + \\ + n' \pi r^2 \left(a - \frac{h - \eta}{2} \right)^2, \end{cases}$$

$$(25) \quad I = eh \left[\frac{h^2}{12} + \left(a - \frac{h}{2} \right)^2 \right].$$

По найденнымъ a , I' , I вычисляются R и R' .

3^о *Опредѣленіе зависимости между величиной момента инерціи и взаимнымъ расположеніемъ брусьевъ въ железо-бетонной балкѣ.*

Полагая

$$(26) \quad \lambda = m I' + I,$$

$$(27) \quad N = n + n',$$

$$(28) \quad \delta = a - \frac{h}{2},$$

замѣняя въ равенствѣ (26) I' и I черезъ ихъ значенія и принимая во вниманіе формулы (27) и (28), получаемъ

$$(29) \quad \left\{ \begin{aligned} \lambda = & \delta^2 (eh + m N \pi r^2) + m \pi r^2 \eta (N - 2n) \delta + \\ & + \frac{eh^3}{12} + \frac{m N \pi r^4}{4} + m N \pi r^2 \frac{\eta^2}{4} \end{aligned} \right.$$

и

$$(30) \quad \delta = \frac{m \pi r^2 \frac{\eta}{2} (2n - N)}{eh + m N \pi r^2}.$$

Чтобы найти величину n , соответствующую максимум λ , нужно продифференцировать уравнение (29) по n и результат приравнять нулю:

$$(31) \quad \frac{d\lambda}{dn} = 0.$$

Принимая во внимание уравнение

$$(32) \quad \frac{d\delta}{dn} = \frac{2 m \pi r^2 \frac{\eta}{2}}{eh + m N \pi r^2} = \frac{m \pi r^2 \eta}{eh + m N \pi r^2},$$

находимъ:

$$(33) \quad \frac{d\lambda}{dn} = \frac{(m \pi r^2 \eta)^2 (N - 2n)}{eh + m N \pi r^2},$$

откуда видно, что производная $\frac{d\lambda}{dn}$ равна нулю въ томъ случаѣ, когда

$$n = \frac{N}{2},$$

т. е. когда число верхнихъ и нижнихъ брусковъ одинаково.

При возрастаніи n отъ нуля до $\frac{N}{2}$, произ-

водная $\frac{d\lambda}{dn} > 0$, что указывает на постоянное увеличение λ , — при увеличении n отъ $\frac{N}{2}$ до N , производная $\frac{d\lambda}{dn} < 0$, что свидѣтельствуетъ о постоянномъ уменьшеніи λ .

Maximum, который мы только что опредѣлили, есть абсолютный maximum, а minimum функции λ въ интересующихъ насъ предѣлахъ имѣетъ мѣсто при

$$n = 0 \text{ и } n = N.$$

Вышеприведенное можно резюмировать слѣдующимъ образомъ:

а) Maximum момента инерціи и, слѣдовательно, maximum сопротивленія желѣзо-бетонной балки съ арматурой изъ круглыхъ брусковъ одинаковаго діаметра имѣютъ мѣсто въ томъ случаѣ, когда бруски расположены симметрично относительно горизонтальной діаметральной плоскости этой балки.

б) Minimum момента инерціи подобной балки имѣетъ мѣсто тогда, когда бруски расположены по одну сторону діаметральной плоскости.

с) На практикѣ minimum составляетъ 70—76% maximum'a.

4⁰ *Симметричныя балки.* — Для этого случая имѣемъ:

$$2n = N,$$

$$a = \frac{h}{2},$$

$$(34) \quad \lambda = m I' + I = \frac{eh^3}{12} + \frac{m N \pi r^2}{4} (r^2 + \eta^2).$$

На практикѣ $\frac{r}{\eta}$ приблизительно равняется 0,1, такъ что r^2 почти равно $0,01 \eta^2$. Безъ большой погрѣшности величиной r^2 , слѣдовательно, въ суммѣ $(r^2 + \eta^2)$ можно пренебречь и написать

$$(35) \quad \lambda = \frac{eh^3}{12} + \frac{m N \pi r^2 \eta^2}{4} = \frac{1}{4} \left[\frac{eh^3}{3} + m \omega' \eta^2 \right],$$

затѣмъ

$$(36) \quad R' = \frac{m M \left(\frac{\eta}{2} + r \right)}{\lambda} = \frac{m M (\eta + 2r)}{2 \lambda},$$

и

$$(37) \quad R = \frac{M \frac{h}{2}}{\lambda} = \frac{Mh}{2 \lambda}.$$

Коэффициенту m Lefort даетъ различныя значенія въ зависимости отъ свойствъ матеріала и состава бетона. Обыкновенно величина m принимается равной 13—26, а прочнаго сопротивленія R —56 килограммовъ на кв. сантиметръ.

Основываясь на различныхъ опытахъ, инженеръ Lefort считаетъ, что при совмѣстной работѣ желѣза и бетона усилія, возбуждаемыя изгибающимъ моментомъ внѣшнихъ силъ, распредѣляются между этими матеріалами слѣдующимъ образомъ:

40% или менѣе воспринимается бетономъ,
60% или болѣе — металломъ.

Онъ пренебрегаетъ соотвѣтственной работой бетона и принимаетъ въ расчетъ лишь часть изгибающаго момента μM , гдѣ

$$\mu = 0,6.$$

При этихъ условіяхъ находимъ

$$(38) \quad \lambda = \frac{m\omega'\eta^2}{4},$$

затѣмъ

$$(39) \quad R' = \frac{\mu mM(\eta + 2r)}{\frac{2m\omega'\eta^2}{4}} = \frac{2\mu mM(\eta + 2r)}{m\omega'\eta^2},$$

или

$$(40) \quad \frac{R'\omega'\eta^2}{2} = \mu M(\eta + 2r).$$

Эта формула справедлива только для тѣхъ случаевъ, когда рассматриваемое сѣченіе бетона приблизительно такое же, какъ и при вышеупомянутыхъ опытахъ, т. е. когда оно въ 25 разъ, по крайней мѣрѣ, больше сѣченія металла.

Когда радіусъ брусковъ сравнительно съ η не великъ или когда рассматриваютъ только среднюю работу металла, величиной $2r$ пренебрегаютъ и предыдущая формула преобразуется въ

$$(41) \quad R'\omega\eta = 2\mu M.$$

На практикѣ $\frac{2r}{\eta}$ приблизительно равно 0,1, а потому можно считать, что формула (41) даетъ результаты съ точностью до 0,1. Средняя работа

металла составляет не болѣе 0,9 максимальной работы.

Если совершенно пренебрегаютъ ролью бетона, что выражается условіемъ

$$\mu = 1,$$

то вмѣсто предыдущихъ формулъ имѣемъ:

$$(42) \quad \frac{R'\omega'\eta^2}{2} = M(\eta + 2r);$$

при разсмотрѣніи только средней работы брусьевъ, r въ виду его малой сравнительно съ η величины выбрасывается вовсе, а потому можемъ написать просто

$$(43) \quad R'\omega'\eta = 2M.$$

Эта послѣдняя формула даетъ для R' значеніе почти вдвое большее, чѣмъ получаемое по формулѣ (40). Въ видѣ поправки принимаютъ, поэтому, сопротивленіе желѣза въ 12 килограммовъ, а стали—въ 18 килогр. на кв. миллиметръ, вмѣсто обычныхъ 8 и 12.

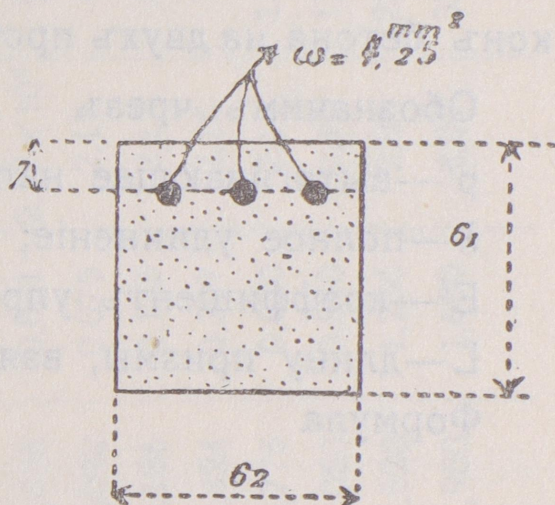
Изъ разсмотрѣнія теоріи Lefort'a видно, что не смотря на свои не совсѣмъ точныя основныя положенія, она всетаки даетъ возможность рассчитывать желѣзо-бетонныя балки во всѣхъ представляющихся на практикѣ случаяхъ.

Работы Considère.

Инженером Considère произведено много наблюдений надъ деформациями крайнихъ вытянутыхъ и сжатыхъ волоконъ желѣзо-бетонныхъ призмъ, подверженныхъ дѣйствию изгибающихъ усилий. Зеркальные приборы, которыми онъ при этомъ пользовался, отличались большой точностью и высокой чувствительностью.

Полученные имъ результаты опытовъ надъ двумя образчиками призмъ, бетонной и желѣзо-бетонной (фиг. 21), были таковы:

Бетонная призма въ теченіе нѣсколькихъ минутъ подвергалась дѣйствию изгибающаго момента въ 11,480 клм. и дала удлиненіе въ 0,201 mm. Разрушеніе произошло при удлиненіи въ 0,266 mm.



Фиг. 21.

Желѣзо-бетонная призма, въ которой площадь арматуры была равна 42,5 mm., выдержала безъ разрушенія изгибающій моментъ въ 78,680 клм. Между двумя послѣдовательными нагрузками всегда имѣло мѣсто полное восстановленіе размѣровъ образца. Поверхность призмы при этихъ опытахъ въ ея средней части оставалась неиз-

мѣнной, между тѣмъ какъ вытянутыя волокна давали удлиненія въ 20 разъ большія, чѣмъ въ бетонной призмѣ, и тѣмъ не менѣе бетонъ не давалъ никакихъ трещинъ.

Напряженія въ бетонѣ, развивающіяся при этихъ опытахъ, вычисляютъ, исходя изъ гипотезы: *полное сопротивленіе призмы есть сумма частичныхъ сопротивленій*. Опредѣляютъ сначала коэффициенты упругости желѣза, растягивая стержни, однородные съ находящимися въ призмѣ, затѣмъ на основаніи гипотезы о неизмѣняемости плоскихъ сѣченій, вычисляютъ удлиненія арматуры по деформациямъ крайнихъ волоконъ бетона на двухъ противоположныхъ ребрахъ.

Обозначимъ чрезъ

p' —вытягивающее напряженіе на кв. миллим.;

λ —полное удлиненіе;

E' —коэффициентъ упругости металла;

L —длину призмы, взятой для опыта.

Формула

$$(1) \quad p' = \frac{E'\lambda}{L}$$

позволяетъ опредѣлить p' , такъ какъ другія величины, входящія въ формулу, извѣстны.

Сопротивленіе бетона легко опредѣлить, считая величину напряженія арматуры изъ полного растяженія всей призмы; отсюда затѣмъ опредѣляютъ коэффициентъ упругости бетона.

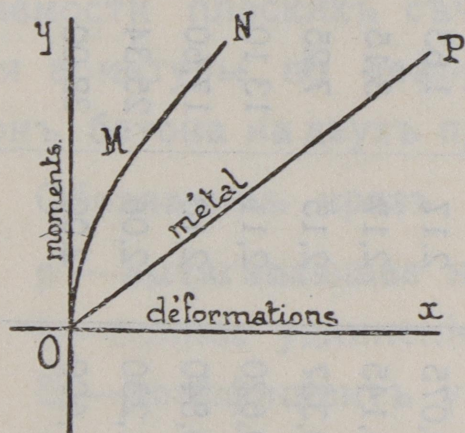
Таблица, приведенная на стр. 65, даетъ результаты, полученные Considère'омъ.

Изгибающій моментъ, приложенный къ призмѣ.	Разстоянія нейтральной оси отъ поверхности		Удлинёнія		Величина на E' для желѣза.	Внутреннее напряженіе въ желѣзѣ		Плечо этихъ напряженій.	Часть изгиб. момента, приходящая на металлъ	Часть изгиб. момента, приходящая на бетонъ.
	сжимаемой.	вытягаемой.	найденныя въ цементѣ.	вычисленныя для желѣза.		на кв. мм.	полное.			
kgm.	mm.	mm.	mm.	mm.	.	klgr.	kg.	m.	kg.	kg.
5,18	28,7	32,3	0,038	0,031	$2,17 \times 10^6$	0,67	28	0,0450	1,28	3,90
11,48	28,7	32,3	0,092	0,075	2,17	1,63	69	0,0450	3,12	8,38
19,88	28,7	32,3	0,186	0,145	2,17	3,15	134	0,0450	6,03	13,85
30,38	27,4	33,6	0,424	0,337	2,15	7,25	309	0,0450	13,90	16,48
40,88	25,3	35,1	0,775	0,620	2,11	13,10	558	0,0445	24,83	16,05
49,28	25,5	35,7	1,050	0,840	2,10	17,60	750	0,0442	33,15	16,13
63,98	24,4	36,7	1,520	1,230	2,06	25,34	1079	0,0440	47,48	16,50
68,68	24,4	36,6	1,980	1,600	2,00	32,00	1363	0,0440	59,97	18,71

Возьмемъ двѣ прямоугольныя оси координатъ Ox и Oy (фиг. 22); отложимъ по оси x величину деформаций, по оси y —изгибающіе моменты; получится нѣкоторая кривая.

Пока не превзойденъ предѣлъ упругости, деформация металла пропорціональна усиліямъ, и кривая моментовъ для металла обращается въ прямую OP , проходящую черезъ начало координатъ.

Кривая полныхъ моментовъ проходитъ въ началѣ координатъ касательно къ оси y , быстро



Фиг. 22.

подымается и затѣмъ продолжается въ видѣ прямой линіи MN .

Чтобы поставить лабораторныя испытанія въ условія, близкія къ встрѣчающимся на практикѣ, Considère произвелъ опыты надъ образчикомъ

изъ бетона такого состава, какой часто употребляется строителями, а именно: на куб. метръ песку, смѣшаннаго съ мелкимъ гравіемъ, онъ взялъ 300 кл. цемента.

Принявъ минимальное сопротивленіе въ 12 кл. на растяженіе и 150—на сжатіе при коэффиціентѣ упругости

$$1,9 \times 10^5,$$

Considère опредѣлилъ для нагрузокъ, не превышающихъ предѣлъ упругости, деформации и со-

отвѣтствующія усилія и представилъ ихъ въ ниже-помѣщенной таблицѣ.

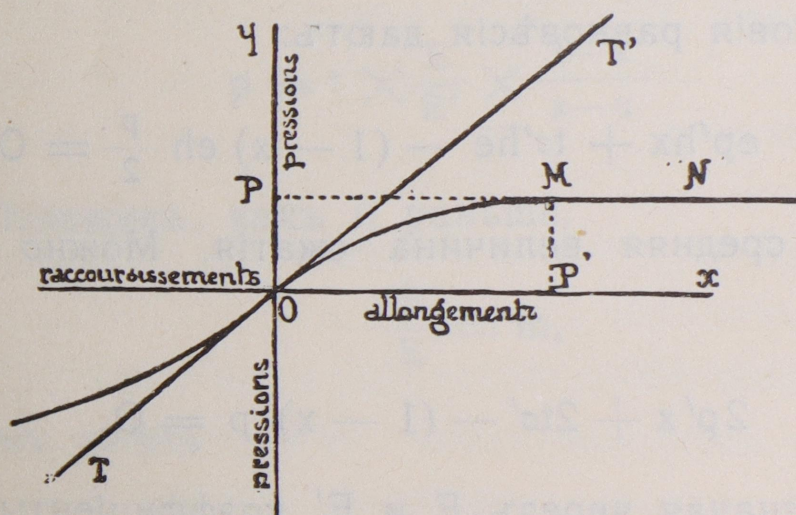
При помощи этихъ цифръ можно построить кривую моментовъ, соотвѣтствующихъ деформациямъ. Эта кривая позволяетъ опредѣлить усилія, развивающіяся въ любыхъ точкахъ желѣзо-бетоннаго тѣла.

Пусть (фиг. 23, 24, 25).

h и e — выраженные въ миллиметрахъ размеры желѣзо-бетонной балки;

FF' — ея нейтральная ось

Удлиненія въ миллиметр.	Внутреннія напряжения.	
	Растяженіе.	Сжатіе.
0,04	7,5	7,5
0,10	11	8
0,25	12	40
0,50	12	65
1,00	12	105
1,50	12	150



Фиг. 23.

Обозначимъ черезъ:

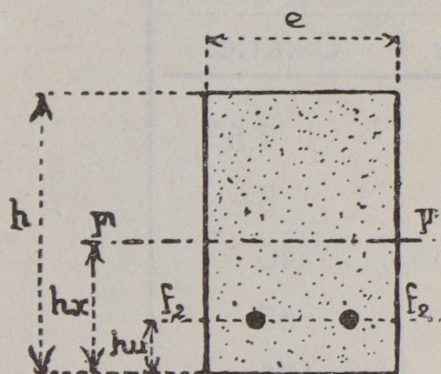
p —наибольшее сжимающее напряженіе въ M_1 ;

p' — наибольшее вытягивающее напряженіе въ N_1 ;

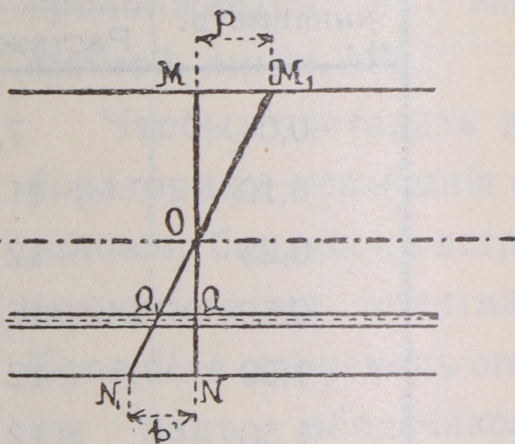
t —среднее напряженіе въ металлѣ на кв. миллиметръ;

σ' —отношеніе площади сѣченія металла къ площади бруса.

Considerе выражаетъ разстояніе отъ нейтральной оси FF' нижняго ребра призмы отръзкомъ hx , а разстояніе того же ребра отъ нейтральной оси металла f_2f_2 отръзкомъ hu .



Фиг. 24.



Фиг. 25.

Условія равновѣсія дають:

$$(2) \quad ep'hx + t\sigma'he - (1 - x)eh \frac{p}{2} = 0,$$

гдѣ $\frac{p}{2}$ средняя величина сжатія. Можно написать

$$(3) \quad 2p'x + 2t\sigma' - (1 - x)p = 0.$$

Обозначая черезъ E и E' коэффициенты упругости бетона и металла, имѣемъ

$$(4) \quad p = E \times MM_1$$

Такъ какъ треугольники OMM_1 и QQQ_1 --- подобны, то

$$(5) \quad \frac{MM_1}{QQ_1} = \frac{OM}{OQ} = \frac{h-hx}{hx-hu} = \frac{1-x}{x-u},$$

что даетъ

$$(6) \quad MM_1 = QQ_1 \times \frac{1-x}{x-u};$$

но

$$(7) \quad t = E' \times QQ_1,$$

или

$$(8) \quad QQ_1 = \frac{t}{E'};$$

слѣдовательно,

$$MM_1 = \frac{t}{E'} \times \frac{1-x}{x-u}$$

и

$$p = t \times \frac{E}{E'} \times \frac{1-x}{x-u}$$

Положивъ, какъ и раньше,

$$(9) \quad \frac{E'}{E} = m,$$

будемъ имѣть

$$(10) \quad p = \frac{t}{m} \times \frac{1-x}{x-u},$$

и тогда уравнение (3) можетъ быть написано такъ:

$$(11) \quad 2p'x + 2t\sigma' - \frac{(1-x)^2}{x-u} \times \frac{t}{m} = 0,$$

или по преобразованіи

$$(12) \quad (2mp' - 1)x^2 + 2(mt\sigma' + t - mp'u)x - (2m\sigma'u + 1)t = 0.$$

Изгибающій моментъ дается уравненіемъ:

$$M = eh p'x \left[\frac{hx}{2} + \frac{2}{3} (h - hx) \right] + \\ + h e t \sigma' \left[(hx - hu) + \frac{2}{3} (h - hx) \right],$$

которое послѣдовательно даетъ

$$M = eh^2 \left[\left(-\frac{p'x^2}{2} + \frac{2p'x}{3} - \frac{2p'x^2}{3} \right) + \right. \\ \left. + t\sigma' \left(x - u - \frac{2}{3}x + \frac{2}{3} \right) \right], \\ M = eh^2 \left[p'x \frac{4-x}{6} + t\sigma' \left(\frac{x-3u+2}{3} \right) \right],$$

и окончательно

$$(13) \quad M = \frac{1}{6} eh^2 [p'x(4-x) + 2t\sigma'(x-3u+2)].$$

Уравненія (10), (12) и (13)—основныя; первое изъ нихъ даетъ величину наибольшаго сжатія въ бетонѣ, второе—положеніе нейтральной оси, третье—величину изгибающаго момента.

На практикѣ принимаютъ

$$u = \frac{1}{12};$$

въ этомъ случаѣ уравненія (10), (12) и (13) преобразуются такъ:

$$(14) \quad p = \frac{t}{m} \times \frac{12-12x}{12x-1} = \frac{12t}{m} \times \frac{1-x}{12x-1},$$

$$(15) \quad 12(2mp'-1)x^2 + \\ + 2(12mt\sigma' + 12t - mp')x - (2m\sigma' + 12)t = 0,$$

$$(16) \quad M = \frac{eh^2}{6} [4p'x(4-x) + 2t\sigma'(4x-u+8)] = \\ = \frac{eh^2}{3} [2p'x(4-x) + t\sigma'(4x-u+8)].$$

Опредѣливъ путемъ опыта величины p' , t и m для металла и бетона, предназначенныхъ къ употребленію, — приступаютъ къ вычисленію p и M для наиболѣе неблагоприятнаго случая, который имѣетъ мѣсто, когда напряженіе въ металлѣ достигаетъ предѣла упругости. Для этого, измѣняя относительное количество металла, даютъ σ' послѣдовательно различныя величины

$$0,01, 0,02, 0,03, 0,04,$$

и рѣшаютъ для cadaго случая уравненія (14), (15) и (16), откуда и получаютъ величины p , x и M .

Для облегченія вычисленій Considère составилъ таблицу которая и приведена на стр. 72.

Эта таблица показываетъ:

1⁰ что нейтральная ось удаляется отъ металла

Номера по порядку.	Наименованіе употребляемыхъ матеріаловъ.		Пределы упру- гости металла.	Сопротивленіе бетона на 1 квадрат. сант.		Процентное содержа- ніе металла.	$\text{Отношеніе} \quad K = \frac{m}{100}$	Разстояніе отъ вы- тнутаго края до нейтр. оси.	Максимальное напря- женіе въ бетонѣ.	Изгибающій моментъ.	Затрата на 1 куб. метръ.	Числа, пропорціональ- ныя затратѣ кгтм.
	Металлъ.	Бетонъ.		При ра- стяженіи	При сжатіи.							
1	Желѣзо	300 въ	16	12	150	0,01	7,0	0,57	107	0,157	65	414
2	Желѣзо	300	"	"	"	0,02	6,5	0,49	143	0,262	85	324
3	Желѣзо	300	"	"	"	0,03	6,0	0,42	186	0,360	105	291
4	Желѣзо	800	"	30	360	0,01	10,0	0,57	193	0,216	85	393
5	Желѣзо	800	"	"	"	0,03	9,0	0,46	231	0,417	125	299
6	Желѣзо	800	"	"	"	0,04	8,7	0,42	264	0,516	145	281
7	Сталь	800	30	30	360	0,01	10,0	0,60	226	0,327	87	266
8	Сталь	800	"	"	"	0,02	8,5	0,51	313	0,521	109	209

по мѣрѣ уменьшенія коэффиціента упругости бетона;

2^о что изгибающій моментъ балки быстро возрастаетъ съ увеличеніемъ процентнаго содержанія металла;

3^о что съ увеличеніемъ процентнаго содержанія металла увеличивается и сжатіе въ бетонѣ и что прочное сопротивленіе бетона тѣмъ больше, чѣмъ лучше его качество.

При бетонѣ составомъ: 300 кл. цемента на куб. метръ песку и гравія—Considère совѣтуетъ отношенію σ' давать величину, равную 0,0217 для балокъ, подверженныхъ постояннымъ нагрузкамъ, и 0,008—для балокъ, въ которыхъ нагрузка мѣняется.

Что же касается того, какой употреблять металлъ: желѣзо или сталь, то Considère рекомендуетъ въ тѣхъ случаяхъ, когда опасаются большихъ сотрясеній, брать желѣзо; если же въ сооруженіи, вслѣдствіе задѣлки, могутъ возникнуть опасныя напряженія, то лучше брать сталь. Въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется большая водонепроницаемость, полезно употреблять жирный бетонъ и арматуру дѣлать изъ стали.

По Considère'у слѣдуетъ предпочтительно употреблять сталь, уменьшая при этомъ сѣченіе арматуры на 0,1 сравнительно съ размѣрами его для желѣза. До тѣхъ поръ пока не превзойденъ предѣлъ упругости для желѣза, сталь не представляетъ особаго преимущества; но если этотъ

предѣлъ превзойдѣнь, балка со стальной арматурой продолжаетъ нормально работать, тогда какъ балка съ желѣзной арматурой становится опасной.

Работы Harel de la Noë.

Инженеръ Harel de la Noë въ своихъ работахъ надъ желѣзо-бетономъ поставилъ себѣ цѣлью:

„получить раціональную и точную систему, согласную съ главными положеніями механики, покоющуюся на провѣренныхъ опытомъ основаніяхъ и способную объяснить наблюдаемыя явленія; опредѣлить практическіе коэффициенты въ формулахъ путемъ примѣненія этихъ формулъ къ существующимъ хорошо работающимъ сооружениямъ; найти коэффициентъ безопасности посредствомъ опытовъ, для чего изготовить балки, по теоретическимъ даннымъ и испытать ихъ, подвергнувъ такимъ нагрузкамъ, чтобы онѣ пришли состояніе, близкое по теоріи къ разрушенію.

Въ своихъ изслѣдованіяхъ Harel de la Noë отвергаетъ гипотезу неизмѣняемости плоскихъ сѣченій, доказываетъ, что остающіяся деформации достигаютъ всегда половины, а иногда и двухъ третей полного изгиба, и наконецъ, допускаетъ, что кривая упругости бетона при растяженіи состоитъ изъ двухъ прямыхъ: OM—наклоненной къ оси х—овъ и MN—параллельной этой оси.

ОР (фиг. 26) представляет наибольшее удлинение бетона, взятого въ отдѣльности, а МР—разрушающее усилие, отнесенное къ единицѣ поверхности.

Обозначимъ черезъ:

М—изгибающій моментъ;

Р—перерѣзывающую силу;

Р — наибольшее сжимающее напряжение въ бетонѣ;

Р'—сжимающее напряжение въ бетонѣ въ средней плоскости перекрытія;

Р''—прочное сопротивление бетона растяженію въ кл. на кв. м.;

т'—напряжение въ металлѣ;

т—наименьшее отношеніе коэффиціента упругости металла E' къ коэффиціенту упругости бетона при сжатіи E ;

η —высота рассматриваемой балки отъ верхней грани ея до оси арматуры;

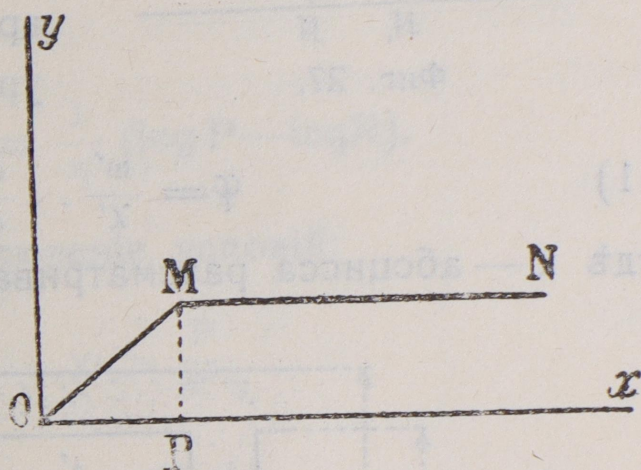
ϵ —толщина перекрытія;

l—разстояніе между балками;

b—ширина балки;

ω' —сѣченіе арматуры;

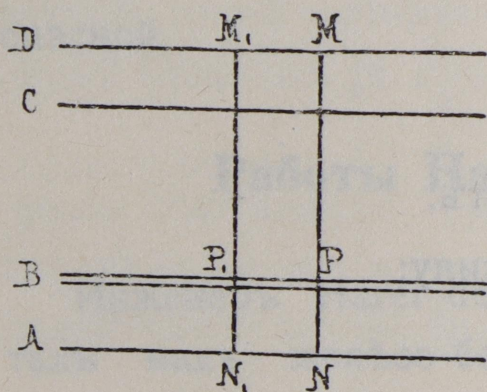
χ' —его периметръ;



Фиг. 26.

γ — частное от ділення перерѣзывающаго уси-
лія на $b\eta$.

Возьмемъ балку (фиг. 27 и 28) типа, упо-

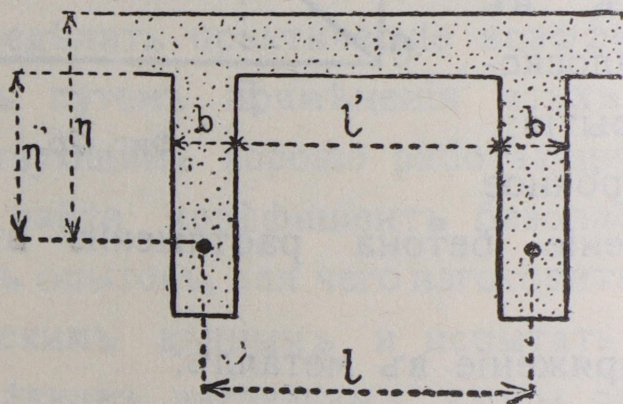


Фиг. 27.

требляемого для по-
толковъ. Harel de la
Noë разсчиталъ, что
скалывающее усиліе
на поверхности, об-
щей для бетона и
арматуры, выражается
уравненіемъ

$$(1) \quad \varphi = \frac{\omega'}{\chi'} \cdot \frac{d\tau'}{dx},$$

гдѣ x — абсцисса разсматриваемаго сѣченія; при



Фиг. 28.

этомъ функція φ имѣетъ всегда величину, мень-
шую, чѣмъ $\frac{P}{\chi'\eta}$

$$(2) \quad |\varphi| < \frac{P}{\chi'\eta};$$

но перерѣзывающее усиліе на единицу поверхно-
сти равно γ , а потому периметръ арматуры опре-
дѣляется уравненіемъ

$$(3) \quad \frac{P}{\chi' \eta} = \gamma.$$

Вообще, принимаютъ

$$\gamma = R;$$

такимъ образомъ имѣемъ:

$$(4) \quad \chi' \eta = \frac{P}{R},$$

что даетъ

$$(5) \quad \log \chi' = \frac{1}{\eta} (\log P - \log R).$$

Необходимо соблюденіе условій:

$$(6) \quad \chi' > \frac{P}{R'' \eta}$$

$$(7) \quad \chi' < b.$$

Въ случаѣ круглыхъ желѣзныхъ брусковъ сѣченіе арматуры дается уравненіемъ

$$(8) \quad \frac{c'}{\rho'} = \frac{d}{\lambda},$$

въ которомъ

c' —скалывающее усилие;

ρ' —наибольшее напряженіе въ металлѣ;

d —діаметръ арматуры;

λ —длина балки.

Ширина балки b получается изъ формулы

$$(9) \quad b = \frac{P}{R'' \eta}.$$

Въ тѣхъ случаяхъ, когда идетъ рѣчь о составленіи проекта, Harel de la Noë даетъ слѣдующія практическія формулы:

$$(10) \quad \eta = \frac{M + 2l\epsilon^2 R}{l\epsilon R - \frac{13}{16}P}$$

$$(11) \quad \omega' = \frac{M}{\tau'\eta}.$$

Если же требуется провѣрить готовый проектъ, то рекомендуются такія уравненія:

$$(12) \quad \tau' = \frac{M}{\omega'\eta},$$

$$(13) \quad R = \frac{M + \frac{13}{16}P\eta}{l\epsilon(\eta - 2\epsilon)}.$$

Эти формулы применимы лишь тогда, когда имѣетъ мѣсто неравенство

$$(14) \quad \frac{\eta}{\epsilon} > \frac{4}{5} \left(1 + \frac{\tau'}{mR} \right);$$

въ противномъ же случаѣ сооруженіе находится не въ благопріятныхъ условіяхъ прочности и нужно взять такія формулы:

$$(15) \quad \eta = \frac{M}{\frac{2}{3} R l \epsilon - P}$$

$$(16) \quad \tau' = 6R \left(\frac{5}{4} \cdot \frac{\eta}{\epsilon} - 1 \right)$$

$$(17) \quad \omega' = \frac{M}{\tau'\eta}.$$

Для балокъ съ прямоугольнымъ сѣченіемъ

18)

$$M = K R b \eta^2,$$

гдѣ K —коэффициентъ, зависящій отъ процентнаго содержанія металла π , т. е. отъ отношенія площади сѣченія арматуры къ площади всей балки. Нижеприведенная таблица даетъ величину коэффициента K для различныхъ значеній π .

π	K
0,003	0,130
0,007	0,150
0,010	0,160
0,020	0,185
0,030	0,206

Въ заключеніе приведемъ численныя значенія нѣкоторыхъ другихъ величинъ, входящихъ въ формулы Harel de la Noë.

Для m берутъ наименьшую возможную его величину—около 6,

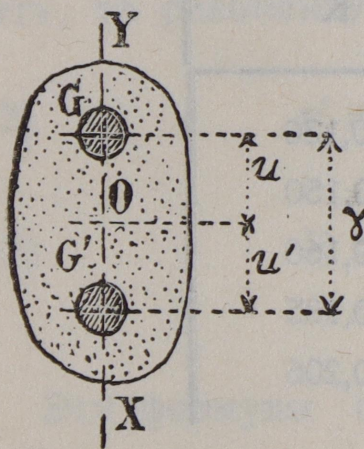
R'' —10 клг. на кв. см.;

R —60 клг. на кв. см.;

χ' —8 клг. на кв. миллиметръ.

Работы Resal'я.

Возьмемъ неоднородную призматическую балку, составленную изъ двухъ элементовъ съ различными упругими свойствами, но такъ связанныхъ между собою, что не возможно никакое взаимное скольженіе и что деформаціи ихъ въ виду сцѣпленія двухъ элементовъ другъ съ другомъ въ смежныхъ частяхъ балки совершенно одинаковы.



Фиг. 29.

Предполагаемъ (фиг. 29), что центры тяжести элементовъ G и G' лежатъ на главной оси разсматриваемаго сѣченія, что изгибающія силы дѣйствуютъ въ плоскости, перпендикулярной къ этому сѣченію и проходящей черезъ ось XU . и что, наконецъ, площади элементовъ имѣютъ плотности, пропорціональныя ихъ коэффициентамъ упругости.

Пусть:

γ — разстояніе GG' ;

ω и ω' — площади разсматриваемыхъ сѣченій двухъ составныхъ элементовъ неоднородной балки;

i и i' — ихъ моменты инерцій.

E и E' — соотвѣтствующіе коэффициенты упругости;

Вообразимъ однородную балку съ центромъ

тяжести въ О на прямой GG и замѣнимъ ею разсматриваемую разнородную балку.

Обозначимъ черезъ:

Ω — площадь сѣченія этой воображаемой балки;

I — моментъ инерціи;

E'' — коэффициентъ упругости;

и и u' — разстоянія центра тяжести О отъ точекъ G и G'.

Полагая

$$(1) \quad \frac{E'}{E} = m,$$

будемъ имѣть:

$$(2) \quad u = \frac{\gamma E' \omega'}{E \omega + E' \omega'} = \frac{E'}{E} \times \frac{\gamma \omega'}{\omega + \frac{E'}{E} \omega'} = m \frac{\gamma \omega'}{\omega + m \omega'}$$

и

$$(3) \quad u' = \frac{\gamma E \omega}{E \omega + E' \omega'} = \frac{\gamma \omega}{\omega + m \omega'}.$$

Далѣе

$$(4) \quad E'' \Omega = E \omega + E' \omega'$$

$$(5) \quad E'' I = E i + E' i' + E'' \Omega u u'.$$

Послѣднее уравненіе можемъ написать такъ:

$$(6) \quad E'' I = E i + E' i' + \frac{\gamma^2 E \omega E' \omega'}{E'' \Omega}.$$

Въ уравненіяхъ (4) и (6) — три неизвѣстныхъ I, Ω и E'' и, слѣдовательно, задача не опредѣ-

ленная. Для раскрытія этой неопредѣленности, вообще, принимаютъ

$$(7) \quad E'' = E.$$

Въ такомъ случаѣ получаемъ:

$$(8) \quad E\Omega = E\omega + E'\omega'$$

$$(9) \quad EI = Ei + E'i' + \frac{\gamma^2 E' \omega \omega'}{\Omega},$$

или иначе

$$(10) \quad \Omega = \omega + m\omega'$$

$$(11) \quad I = i + mi' + m\gamma^2 \frac{\omega \omega'}{\Omega}.$$

По Resal'ю, точка приложенія нормальной силы F есть точка O , черезъ которую проходитъ нейтральная ось, перпендикулярная къ плоскости сѣченія.

На одномъ и томъ же разстояніи отъ оси напряженія въ различныхъ матеріалахъ пропорціональны ихъ коэффициентамъ упругости. Для точки, отстоящей отъ нейтральной оси на разстояніи y , вытягивающія напряженія для обоихъ матеріаловъ даются формулами

$$(12) \quad R = \frac{F}{\Omega} - \frac{My}{I},$$

$$(13) \quad R' = \frac{E'}{E} \left(\frac{F}{\Omega} - \frac{My}{I} \right) = m \left(\frac{F}{\Omega} - \frac{yM}{I} \right).$$

Если балка желѣзо-бетонная, то на одномъ и томъ же разстояніи отъ оси напряженія въ ме-

таллѣ въ 10—12 разъ превосходятъ напряженія въ бетонѣ.

Resal принимаетъ временное сопротивленіе бетона растяженію въ 15—25 клг. на кв. сантиметръ. На практикѣ онъ совѣтуетъ брать отъ 8—10 клг. на растяженіе и 100 клг. на сжатіе. Что же касается величины m , то цифра 10,5 по Resal'ю представляется средней и близкой къ дѣйствительности.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Главные системы желѣзо-бетонныхъ сооружений.

Одна и та же система можетъ быть примѣнена къ весьма большому числу различныхъ желѣзо-бетонныхъ сооружений; но не смотря на это въ каждой системѣ есть своя рѣзко выдѣляющаяся особенность, заключающаяся, главнымъ образомъ, въ томъ или иномъ расположеніи металлическихъ связей.

Число различныхъ системъ желѣзо-бетонныхъ сооружений очень велико и растетъ со дня на день. Мы классифицируемъ ихъ по напряженному состоянію желѣзо-бетонной части, рассматриваемой отдѣльно.

Напряженное состояніе зависитъ отъ формы части и отъ способа приложенія внѣшнихъ силъ.

Прямые части могутъ быть подвергнуты дѣйствию сжимающихъ или изгибающихъ усилій, кривыя же — могутъ работать на изгибъ, сжатіе или вытягиваніе.

Если внѣшнія силы перпендикулярны къ оси прямого бруса, то таковой работаетъ на простой изгибѣ; при внѣшнихъ силахъ, дѣйствующихъ подъ угломъ къ этой оси имѣемъ случай сложнаго изгиба. Сложный изгибъ представляетъ всегда въ желѣзо-бетонныхъ массивахъ сочетаніе сжатія съ простымъ изгибомъ.

Различныя желѣзо-бетонныя сооруженія могутъ быть раздѣлены на пять группъ:

1⁰ Горизонтальныя части, нагруженныя сверху: плиты, полы, террасы, плоскія покрытія, мосты и проч.

2⁰ Горизонтальныя части, нагруженныя снизу: пластины, ростверки и подушки.

3⁰ Вертикальныя части съ боковой нагрузкой: стѣны резервуаровъ, подпорныя стѣны и т. п.

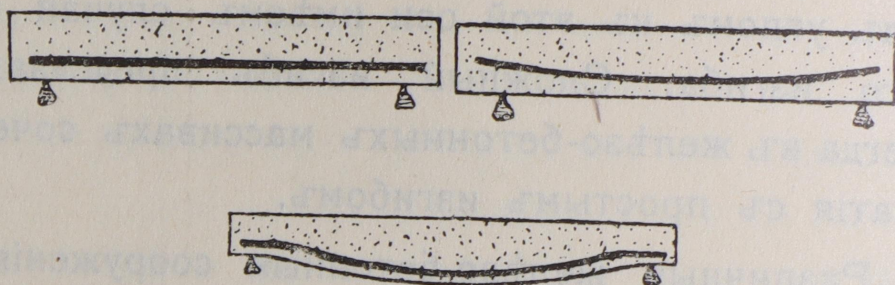
4⁰ Наклонныя части: кровли, одежды откосовъ и пр.

5⁰ Подвѣшенныя части: балконы, кронштейны и т. п., задѣланныя однимъ концомъ.

Общее расположеніе связей. — Въ желѣзобетонномъ тѣлѣ арматура должна быть такъ расположена, чтобы она могла сопротивляться скалывающимъ и вытягивающимъ усиліямъ.

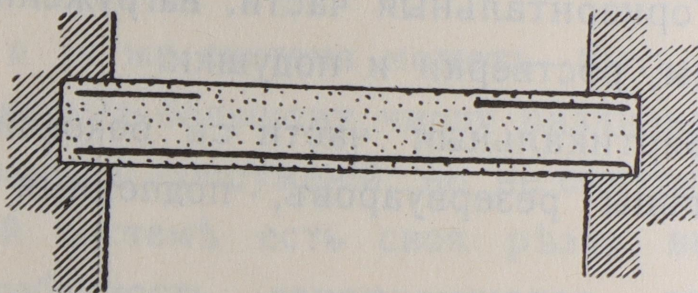
Если рассматриваемый брусъ свободно лежитъ на двухъ опорахъ и нагруженъ сверху, то для сопротивленія вытягивающимъ усиліямъ арматура должна быть помѣщена какъ можно ближе къ нижней грани. Она можетъ быть прямой или

кривой и имѣть расположеніе согласно чертежамъ 30, 31 и 32.



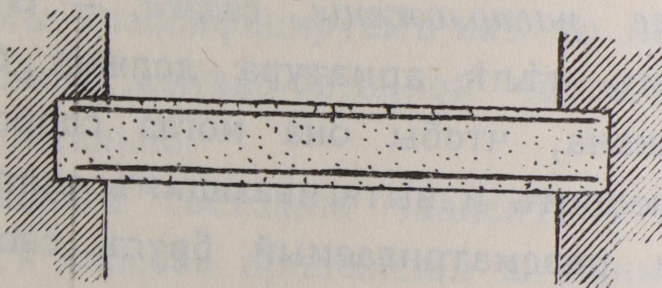
Фиг. 30, 31 и 32.

Если брусъ задѣланъ двумя концами, изгибающіе моменты мѣняють свой знакъ на протяже-



Фиг. 33.

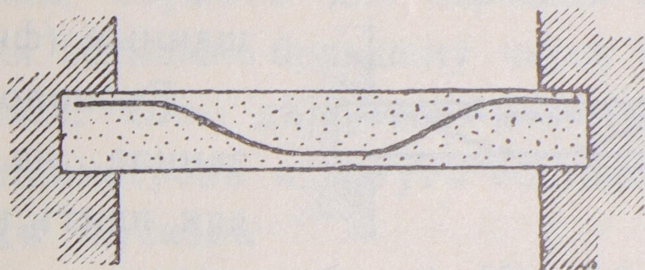
ніи длины пролета, и потому арматурѣ слѣдуетъ давать расположеніе по чертежамъ 33—38.



Фиг. 34.

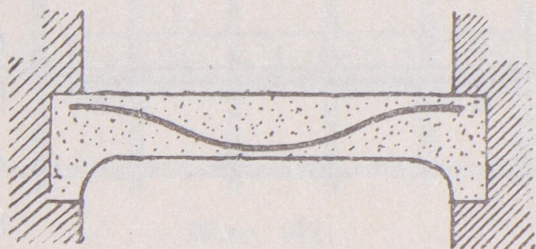
Когда желѣзо-бетонныя сооруженія должны сопротивляться скалывающимъ усиліямъ, то въ

цементъ располагають вертикальные или наклонные бруски. Иногда арматуру дѣлають въ видѣ настоящей рѣшетки (фиг. 39 и 40).

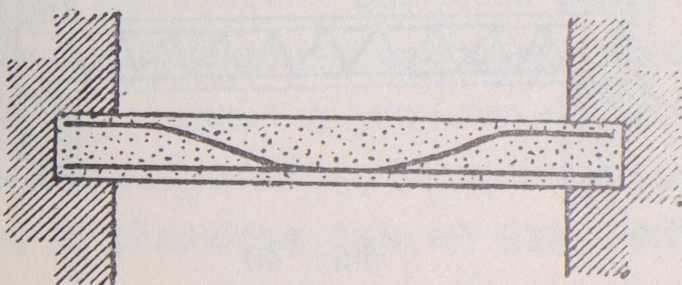


Фиг. 35.

Плиты. — Когда расположение арматуры изъ стержней, только что указанное нами, повторяется въ цѣломъ рядѣ вертикальныхъ параллельныхъ плоскостей, то получается остовъ *плиты*. При этомъ иногда употребляютъ поперечные связующіе бруски (рѣшетчатая арматура) иногда нѣтъ (арматура изъ отдѣльныхъ стержней).



Фиг. 36.



Фиг. 37.

Рѣшетчатая арматура. — Рѣшетчатая арматура раздѣляется на

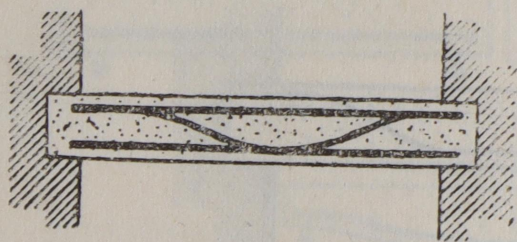
1⁰ арматуры прямая простая (фиг. 30),

2⁰ арматуры кривыя простыя (фиг. 31, 32, 35, 36),

3⁰ арматуры двойныя (фиг. 33, 34),

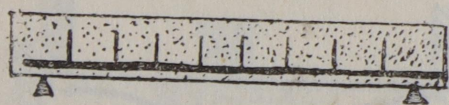
4⁰ арматуры смѣшанныя (фиг. 37).

Расположеніе, указанное на фиг. 38, для плитъ не употребляется.



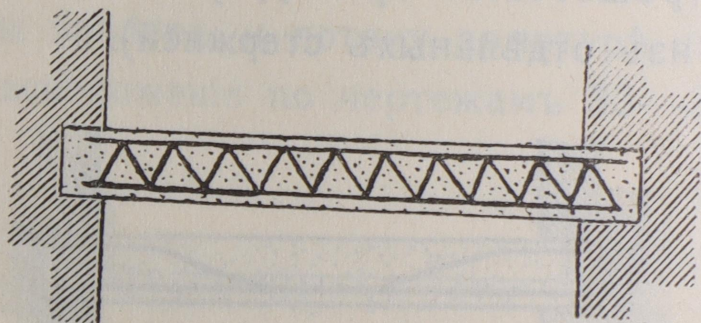
Фиг. 38.

1⁰ Въ системѣ Монье (фиг. 41) остовъ дѣлается изъ двухъ родовъ параллельныхъ круглыхъ брусковъ, пересѣкающихся подъ прямыми углами. Нижніе бруски *а*, называемые *стержнями сопротивленія*, принимаютъ на себя



Фиг. 39.

дѣйствующія напряженія. Они помѣщаются по направленію отъ одной опоры къ другой, если плита



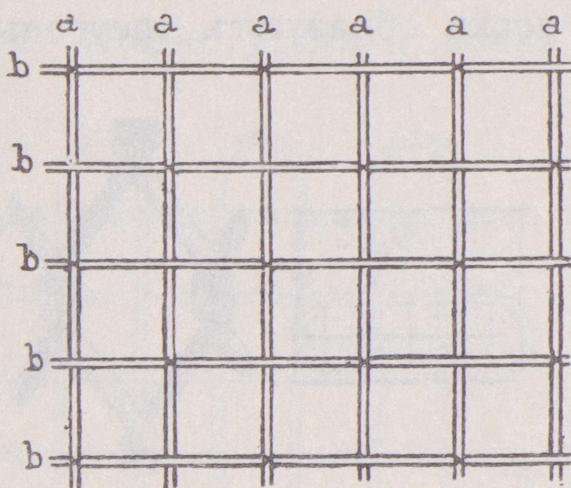
Фиг. 40.

лежитъ на двухъ опорахъ, и—вдоль наименьшаго измѣренія плиты, когда она лежитъ на прямоугольной рамѣ. Бруски эти имѣютъ различныя сѣченія, располагаются одинъ отъ другого на

5—10 сантим. и длина ихъ опредѣляется разстояніемъ между опорами.

Верхніе бруски *b*, называемые *стержнями распределенія*, служатъ для передачи дѣйствующаго усилія возможно большому числу *стержней сопротивленія*. Они дѣлаются діаметромъ отъ 3 до 6 миллиметровъ и могутъ состояться изъ нѣсколькихъ кусковъ длиною отъ 3 до 7 сантиметровъ.

Видоизмѣняя одинъ *b* изъ элементовъ въ этомъ типѣ металлической арматуры, получаютъ много новыхъ системъ.



Фиг. 41.

Въ системѣ *Schlüter's* измѣненіе касается только расположенія петель рѣшетки; бруски, ея составляющія, всѣ помѣщаются подъ нѣкоторымъ угломъ къ направленію главнаго изгиба.

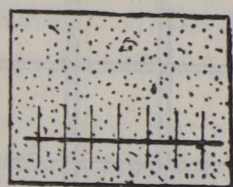
Система *Bordenave* разнится отъ системы Монье только сѣченіемъ стержней, которое дѣлается не круглымъ, а уголковымъ, U—образнымъ, или двутавровымъ. Толщина стержней минимальная, и дѣлаются они не изъ желѣза, а изъ стали.

Въ системѣ *Wopna* бруски имѣютъ крестообразное сѣченіе.

Въ системѣ *Hyatt* стержни сопротивленія состоятъ изъ поставленныхъ на ребро полосъ съ

дырами, черезъ которыя пропущены маленькіе круглые бруски, или просто куски металла, какъ показано на фиг. 42.

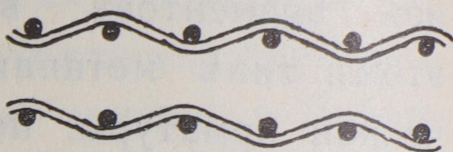
Въ системахъ *Donat* и *Müller* вовсе нѣтъ сплошныхъ стержней распредѣленія; стержни сопротивленія просто соединены другъ съ другомъ по два. Въ первой—эти стержни сдѣланы изъ желѣза въ видѣ I, а между ними желѣзные полосы образуютъ треугольную сѣть. Во второй—



Фиг. 42.



Фиг. 45.



Фиг. 44.

всѣ стержни и сопротивленія и распредѣленія сдѣланы изъ полосового желѣза, поставленнаго на ребро.

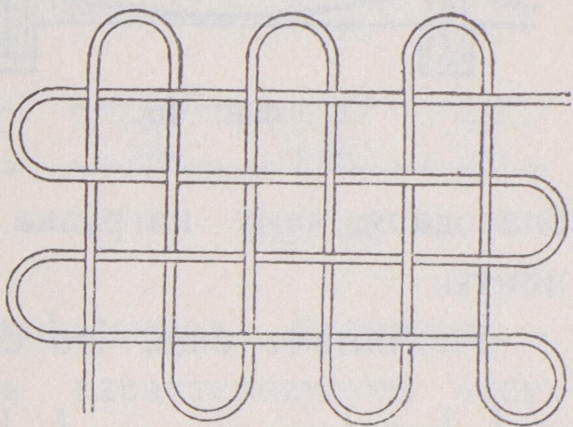
Въ системѣ *Rabitz* для образованія металлической сѣти употребляютъ обыкновенную рѣшетку изъ гальванизированнаго желѣза.

Арматура въ системѣ *Cottancin* (фиг. 43 и 44) дѣлается изъ переплетенной желѣзной или стальной проволоки безъ всякихъ связокъ. Чередованіе различныхъ частей этой проволоки, проходящихъ то снизу, то сверху одна надъ другой, оказывается вполне достаточнымъ для приданія крѣпости всей арматурѣ. При изготовленіи своихъ

рѣшетокъ Cottancin употребляетъ самыя разнообразныя формы. Круглое желѣзо берется обыкновенно діаметромъ въ 4,5 миллиметра. Сопротивленіе возможнымъ нагрузкамъ мѣняется сообразно размѣрамъ петель. Когда нужно имѣть очень жесткую сѣтку, то для болѣе удобнаго помѣщенія бетона дѣлають петли большія, а жесткости достигаютъ помѣщеніемъ черезъ извѣстные промежутки брусьевъ очень большого размѣра. Можно усилить балки также посредствомъ

связокъ, называемыхъ авторомъ „épines-contreforts“.

Система цѣльно-рѣшетчатого металла, предложенная Golding'омъ, идетъ еще далѣе въ увеличеніи прочно-



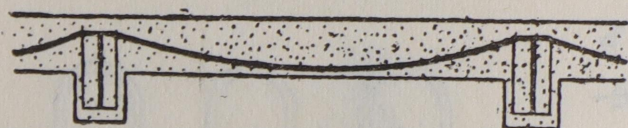
Фиг. 43.

сти соединенія стержней того и другого рода между собою. Арматура представляетъ изъ себя родъ металлическаго полотна, выдѣланнаго изъ одного цѣлаго листа, переработаннаго механически путемъ вырѣзыванія и вытягиванія въ рѣшетку изъ ромбовъ со сторонами, образующими съ продольной осью плиты уголъ въ 45° . Соотвѣтственно съ требуемымъ сопротивленіемъ измѣняютъ калибръ металла и величину петель.

Наконецъ, въ системѣ Ambrosius'a главные стержни сопротивленія изъ неравнобокихъ уголковъ поддерживаютъ металлическій листъ,

простирающійся на всю ширину плиты и дающій желаемое сопротивленіе изгибу въ поперечномъ направленіи.

2^о Кривыя простыя арматуры осуществлены въ системъ *Lillienthal'*я, который примѣняетъ расположеніе, указанное на фигурѣ 32, и въ системъ *Matrai*, носящей названіе *fer—béton*. Въ этой послѣдней металлическая рѣшетка со-

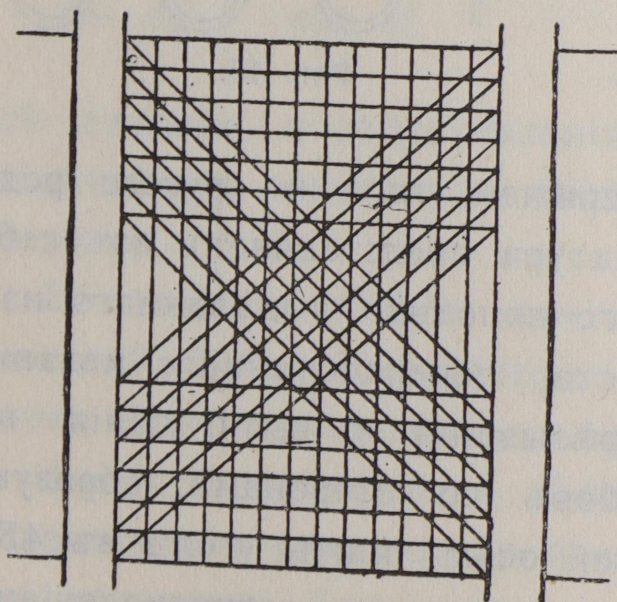


Фиг. 46.

ставлена изъ про-
волокъ, свободно
повѣшенныхъ въ
видѣ цѣпочекъ
(фиг. 46 и 47),

благодаря чему нагрузка передается на опоры плиты.

Упомянемъ еще, что системы *Monier*, *Müller*



Фиг. 47.

и цѣльно-рѣшетча-
таго металла мо-
гутъ быть примѣне-
ны и въ этомъ ти-
пѣ арматуръ.

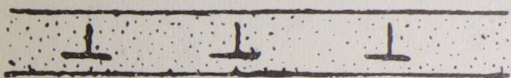
3^о Двойнымъ ар-
матурамъ даютъ ча-
ще всего располо-
женіе, показанное
на фиг. 34, при чемъ
можетъ быть при-
мѣнена и система

Монье. Вторая рѣшетка смотря по обстоятель-
ствамъ, иногда соединяется съ первой металли-
ческими проволоками, иногда нѣтъ. Равнымъ

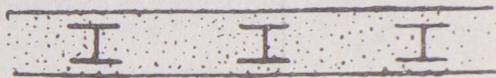
образомъ для двойной арматуры можно употребить и систему цѣльно-рѣшетчатого металла, но только обѣ арматуры въ этомъ случаѣ остаются независимыми.

Въ системѣ *Néville* верхняя и нижняя сѣтки соединяются наклонной рѣшеткой.

4⁰ Въ системѣ *Hennebique* примѣняется сочетаніе кривой и прямой арматуры согласно фиг. 37. На этой системѣ мы далѣе остановимся болѣе подробно.



Фиг. 48.



Фиг. 49.

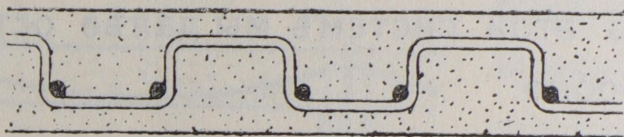
Арматуры изъ отдѣльныхъ стержней. — Этотъ типъ арматуръ характеризуется отсутствіемъ стержней распредѣленія. Классификація ихъ точно такая же, какъ и рѣшетчатыхъ арматуръ.

1⁰ Берутъ куски желѣза различной формы и размѣщаютъ ихъ параллельно одинъ другому безъ всякой связи другъ съ другомъ. Въ системахъ *Stolte*, *Rössler*, *Helm* и *Зерникова* взято полосовое желѣзо, *Wünsch'a*—тавровое (фиг. 48) и *Hotzer'a*—двутапное (фиг. 49). *Ransome* употребляетъ квадратные желѣзные бруски довольно большого размѣра, предварительно скручивая ихъ въ холодномъ состояніи для того, чтобы въ виду отсутствія связей не происходило въ массѣ скольженія.

Системы Habrich'a и Düsing'a отличаются от предыдущей тѣмъ, что бруски сдѣланы изъ полосового желѣза и скручены въ горячемъ состояніи.

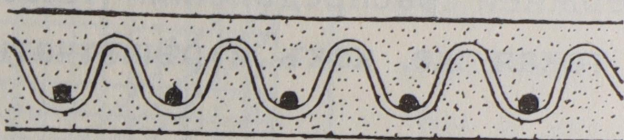
Въ *системѣ Donath* сѣченіе брусковъ имѣетъ форму S.

На фиг. 50 и 51 показано расположеніе, при-



Фиг. 50.

нятое въ *системахъ Chaudy и Degon*, въ которыхъ бруски распределенія не устранены вовсе и служатъ для сопротивленія скалыванію.



Фиг. 51.

2⁰ Изъ простыхъ кривыхъ арматуръ слѣдуетъ упомянуть объ арматурѣ *системы Klett'a* (фиг. 52), которая состоитъ изъ желѣзныхъ полосъ, опирающихся на верхнія полки балочекъ и поддерживающихъ кусочки уголковъ длиною равной ширинѣ полосъ. Въ системѣ Wilson, распространенной въ Америкѣ, нѣтъ этихъ уголковъ.

Въ системѣ Stapf'a употребляется полосовое желѣзо съ круглыми ямками и выступами, вы-

давленными при прокаткѣ. Въ системѣ Rossi арматура имѣетъ синусоидальную форму.

3^о Двойная арматура осуществляется въ системѣ Boussiron (фиг. 33) и въ системѣ, предложенной Lefort'омъ. Въ обоихъ случаяхъ верхняя и нижняя части арматуры между собою ничѣмъ не связываются.

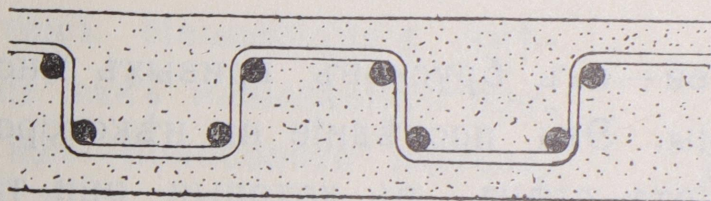
На фиг. 53 показана двойная арматура системы Chaudy; связи въ видѣ кремальеры, при-



Фиг. 52.

мѣняемая въ ней, служатъ для противодѣйствія скалыванію.

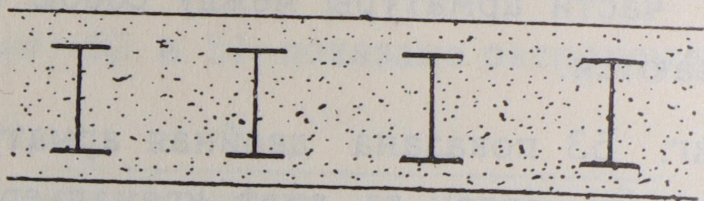
Къ этому же классу можно отнести и тѣ ар-



Фиг. 53.

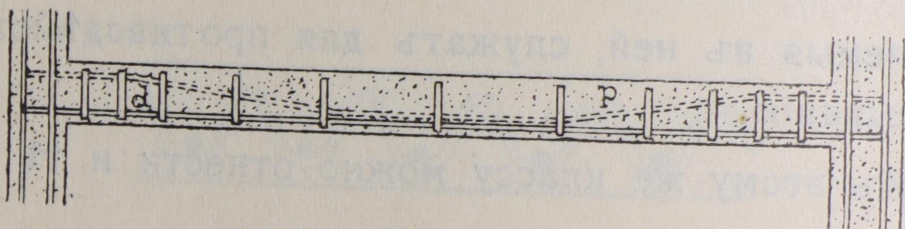
матуры, въ которыхъ употребляются большія половыя балки, погруженныя въ бетонъ. Эти балки, смотря по обстоятельствамъ, иногда соединяются между собою, иногда нѣтъ.

Въ системѣ *Weyler* (фиг. 54) арматура составлена изъ полосъ листового желѣза, поставленныхъ на ребро и имѣющихъ высоту почти равную толщинѣ плиты. Въ полосахъ этихъ продѣланы большія круглыя отверстія.



Фиг. 54.

4^о Какъ мы уже раньше сказали, система *Hennebique'a* (фиг. 55, 56) смѣшанная. Въ конструкціяхъ этого рода арматура составлена въ нижней части изъ прямыхъ круглыхъ параллельныхъ брусковъ, задѣланныхъ концами въ стѣны,



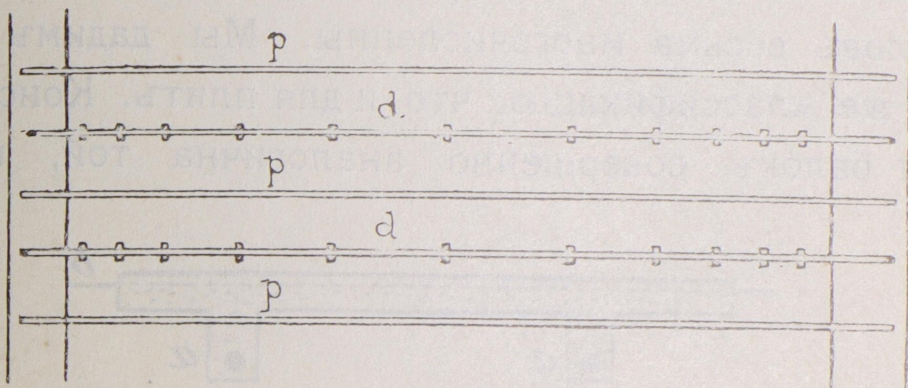
Фиг. 55.

въ верхней—изъ брусковъ кривыхъ многоугольной формы. Эти послѣдніе на нѣкоторомъ протяженіи отъ стѣнъ, въ которыя они также задѣланы своими концами, идутъ параллельно прямымъ брускамъ, а затѣмъ опускаются внизъ и посрединѣ сходятся съ ними на одномъ уровнѣ.

Эти изогнутые бруски, по расчету *Hennebique'a* должны сопротивляться опорному моменту. Взявъ ихъ моментъ сопротивленія относительно ней-

тральной оси видимъ, что онъ имѣеть отрицательную величину въ плоскости задѣлки, равенъ нулю на нѣкоторомъ разстояніи отъ нея и становится положительнымъ посрединѣ, гдѣ къ нему присоединяется моментъ нижнихъ брусковъ.

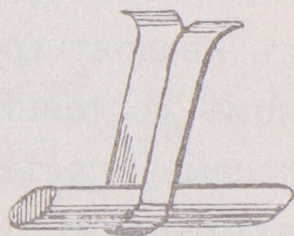
Слѣдовательно, моментъ сопротивленія верх-



Фиг. 56.

нихъ брусковъ слѣдуетъ въ своихъ измѣненіяхъ за измѣненіями изгибающихъ моментовъ. Благодаря своей кривизнѣ, верхняя часть арматуры работаетъ также и на скалываніе.

Кромѣ прямыхъ и изогнутыхъ брусковъ, сдѣланныхъ изъ круглаго желѣза, въ системѣ Hennebique'a имѣются еще такъ называемыя *подвѣски* изъ полосового желѣза. Эти подвѣски огибаютъ прямые бруски и своими верхними концами закрѣпляются въ сжатыхъ частяхъ бетона; расположены онѣ такъ, что взаимное разстояніе ихъ другъ отъ друга увеличивается по мѣрѣ удаленія отъ опоръ.

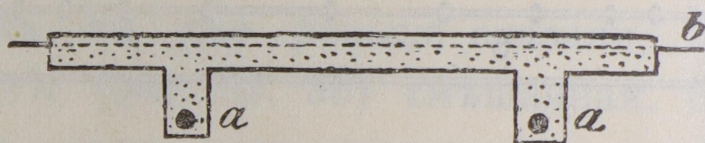


Фиг. 57.

Какъ на типъ смѣшанной арматуры можно

указать еще на систему Boussiron'a, въ которой примѣнены попеременно прямые и кривые бруски, но нѣтъ подвѣсокъ.

Балки. — Когда плиты принимаютъ слишкомъ большіе размѣры, то къ нимъ присоединяютъ такъ называемыя ребра, и получаются *ребристыя плиты, или полы съ балками* (фиг. 58). Системы этихъ половъ весьма многочисленны. Мы дадимъ имъ ту же классификацію, что и для плитъ. Конструкція балокъ совершенно аналогична той, какая



Фиг. 58.

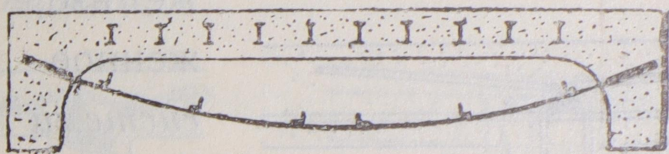
примѣняется для плитъ, только связи здѣсь имѣютъ гораздо большее значеніе.

1⁰ Въ системѣ арматуръ прямыхъ и простыхъ перекрытіе имѣетъ обыкновенно въ каждомъ промежуткѣ видъ сводика. Укажемъ на систему *Коепп*'а съ круглыми брусками, систему *Ransome*'а съ квадратными брусками, скрученными въ холодномъ состояніи, систему *Hyatt* съ желѣзными полосами, поставленными на ребро и связанными затяжками.

2⁰ Изъ системъ кривыхъ простыхъ арматуръ укажемъ на систему *Möller*'а (фиг. 59 и 60) и *Locher*'а (фиг. 61 и 62).

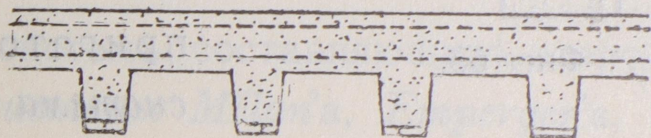
Большинство системъ желѣзо-бетонныхъ балокъ принадлежатъ къ категоріи двойныхъ арматуръ, которыя можно раздѣлить на три класса.

Къ первому классу относятся арматуры со стержнями сопротивленія *a* (фиг. 58) плоскими, круглыми или квадратными, соединенными разно-



Фиг. 59.

образными связями съ однимъ или нѣсколькими стержнями сопротивленія *b*.



Фиг. 60.

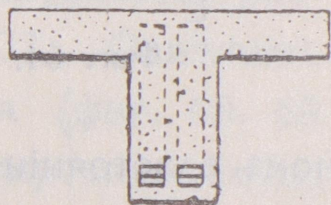
Во второй классъ входятъ арматуры изъ фа-



Фиг. 61.

соннаго желѣза, сконструированныя такимъ образомъ, что достигается полная объединенность ихъ различныхъ частей.

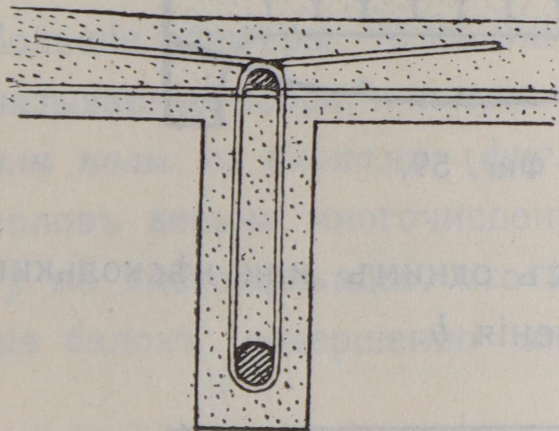
Третій классъ характеризуется употребленіемъ нижнихъ кривыхъ брусковъ вмѣсто прямыхъ.



Фиг. 62.

1⁰ Къ первому классу принадлежатъ: *система Société de Crèches*, въ которой

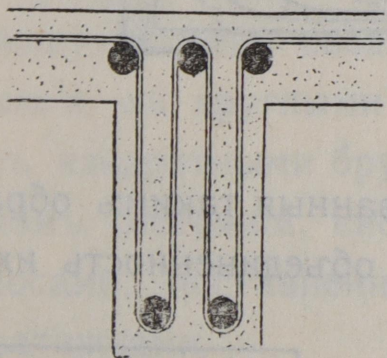
связи сдѣланы изъ простой желѣзной проволоки (фиг. 63); *система Coignet*, примѣняющаго для соединенія верхняго и нижняго брусьевъ оброчное



Фиг. 63.

желѣзо, расположенное зигзагами; *система Pavin de Lafarge*, подобная предыдущей, но съ тѣмъ отличіемъ, что перекрытіе состоитъ изъ частей ранѣе приготовленныхъ; *система Stellet*, ха-

рактирующая рѣшетчатой вертикальной стѣнкой; *система Chaudy*, подобная системѣ первой, только связи въ ней образуются подвѣсками изъ круглаго или плоскаго желѣза; *система Lefort*, въ которой для перекрытія употребляютъ двойную

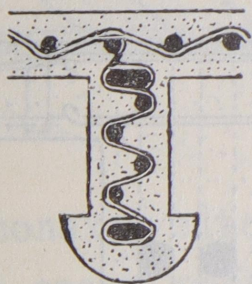


Фиг. 64.

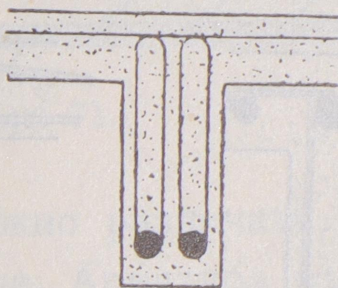
арматуру изъ параллельныхъ пучковъ проволокъ, размѣщенныхъ въ двухъ горизонтальныхъ плоскостяхъ, симметричныхъ относительно оси перекрытія, а для балокъ берутъ два одинаковыхъ круглыхъ бруска и верхній помѣщаютъ на рав-

номъ разстояніи между проволоками перекрытія; *система Dégon*, въ которой примѣняется волнистая проволока, причемъ таковой можно дать различное расположеніе; *система Walser-Gérard* (фиг. 64),

система Cottancin (фиг. 65), *система Ransome*, *системы Busso* и *Viennot*, *система Boussiron* (фиг. 66) съ подвѣсками изъ обручнаго желѣза и, наконецъ, *система Chassin*.



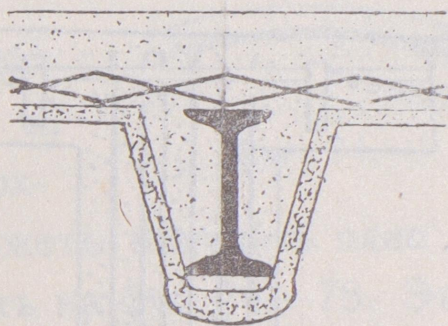
Фиг. 65.



Фиг. 66.

2⁰ Изъ системъ, составляющихъ второй классъ, укажемъ: *системы Mélan'a*, *Emperger'a*, *Harel de la Noë*, *цѣльно-рѣшетчатого металла* (фиг. 67) *Klett'a* и *Staff'a*, *Bonna* и *Chaudy*.

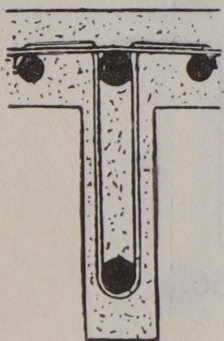
3⁰ Кризисъ арматуры мало употребительны, упомянемъ только о системѣ *Möller'a*, подобной описанной на стр. 98; только желѣзныя полосы замѣнены здѣсь стальными проволочными канатами.



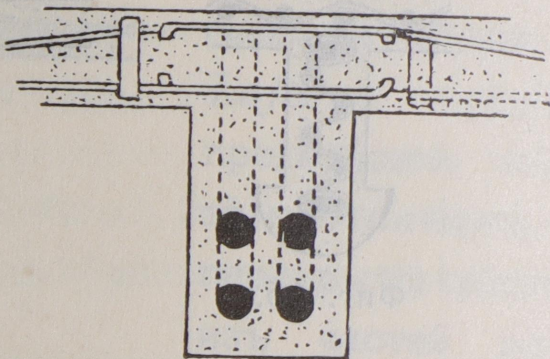
Фиг. 67.

Въ смѣшанныхъ арматурахъ применяется такое положеніе, подобное типу фиг. 37. Отметимъ прежде всего систему *Hennebique'a* (фиг. 68, 69 и 70), въ которой балки сконструированы точно также, какъ и болѣе толстыя плиты. Здѣсь находимъ прямые и согнутые бруски, и подвѣски, но прямые и согнутые бруски не чередуются между

собою, а располагаются другъ надъ другомъ и перехватываются однѣми и тѣми же подвѣсками. Число брусковъ тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе должно быть сопротивленіе балки. Всѣ бруски



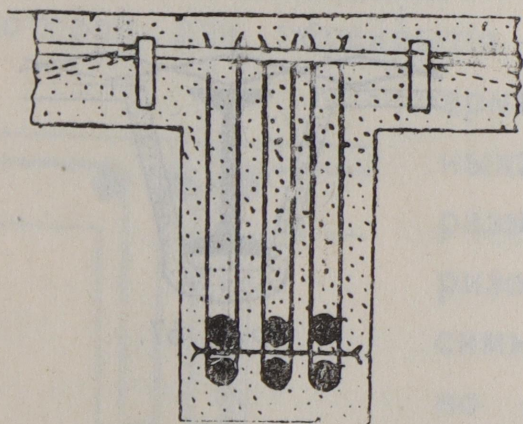
Фиг. 68.



Фиг. 69.

имѣютъ одинъ и тотъ же діаметръ, не болѣе 50 миллиметровъ.

Система Wayss'a подобна предыдущей, только согнутые бруски изгибаются не у самыхъ опоръ, а на нѣкоторомъ отъ нихъ разстояніи.

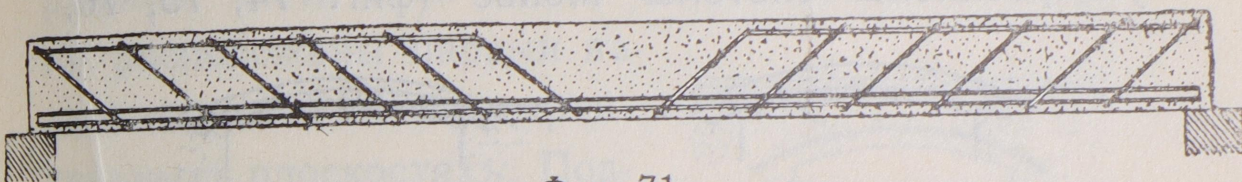


Фиг. 70.

Фигуры 71, 72 и 73 показываютъ расположеніе, принятое въ системахъ *Coularou* и *Luipold'a*, имѣющихъ

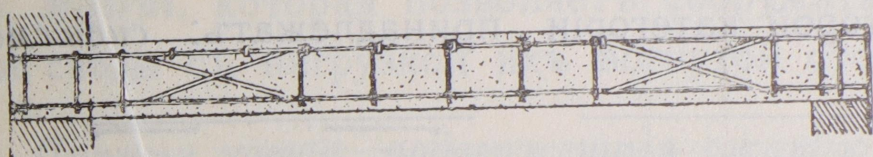
много общаго съ системой *Hennebique'a*. Въ системѣ *Siegrwart'a* полы вмѣсто того, чтобы устраивать ихъ на мѣстѣ, составляютъ изъ трубъ, изготовленныхъ заранѣе. Въ заключеніе упомянемъ еще о системахъ *Matrai* и *Picq'a*.

Кривыя части. — Эти части подвержены сложному изгибу и представляют собою перекрыті и стѣны въ видѣ сводовъ. Точно такъ же, какъ



Фиг. 71.

и въ полахъ, здѣсь нужно различать своды простые и своды ребристые. Арматура въ сооруже-



Фиг. 72.



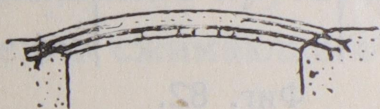
Фиг. 73.

яхъ этого рода должна сопротивляться вытягивающимъ усиліямъ, вызываемымъ изгибомъ, и скалывающимъ.

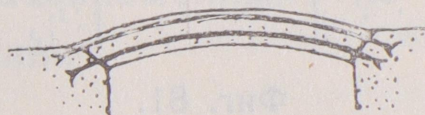
Если кривыя части ограничиваются внутренними и наружными кривыми поверхностями, то арматура можетъ получить одно изъ расположеній, показанныхъ на фиг. 74—78. Это—первая категорія сводовъ.



Фиг. 74.



Фиг. 75.



Фиг. 76.

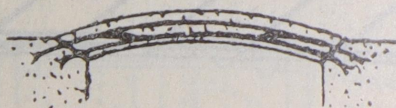
Вторую категорію составляютъ своды, наружная поверхность которыхъ представляетъ горизонтальную плоскость. Фигуры 79—83 показы

вають различное расположеніе, какое можно дать арматурѣ въ этомъ случаѣ.

Въ сводахъ первой категоріи могутъ быть употребляемы системы Монье (фиг. 74, 75, 76,



Фиг. 77.



Фиг. 78.

77), цѣльно-рѣшетчатого металла и Мелана (фиг. 78).

Ко второй категоріи принадлежатъ: *система*



Фиг. 79.



Фиг. 80.

Fairbairn (фиг. 81) съ нижней арматурой изъ дугообразнаго полотна, *система Moreland*, съ нижней арматурой изъ волнистаго желѣза, *системы Grüning'a, Roebling'a и Veyhe*, подобныя



Фиг. 81.



Фиг. 82.

предыдущимъ, *система Wünsch'a*, представляющая вариантъ системы Мелана.

Въ сводахъ системы *Hennebique'a* мы встрѣчаемъ осуществленіе тѣхъ же конструкцій, какія

приняты имъ для балокъ; прямые бруски здѣсь искривлены согласно очертанію внутренней направляющей, а согнутые—соотвѣтственно центральной части этой линіи. Какъ тѣ, такъ и другіе расположены парами въ однѣхъ и тѣхъ же вертикальныхъ плоскостяхъ. Подвѣски связываютъ эти бруски съ бетономъ.



Фиг. 83.

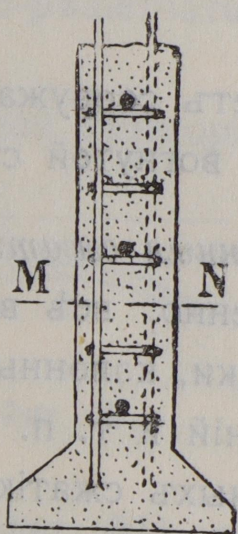
Упомянемъ еще о системѣ *Matrai*, которая позволяетъ сооружать обратные своды съ нагрузкой ихъ вогнутой стороны.

Прямая часть, подверженная сжатію. — Эта категория обнимаетъ, собственно, всѣ вертикальныя опоры: стѣны, перегородки, колонны, столбы, мостовые быки, сваи основаній и т. п. Арматура во всѣхъ этихъ подверженныхъ сжатію частяхъ сооружений, должна сопротивляться, кромѣ главнаго сжимающаго усилія, также и второстепеннымъ изгибающимъ усиліямъ, которыя могутъ дѣйствовать въ различныхъ направленіяхъ. Она дѣлается поэтому симметричной относительно оси сооруженія и состоитъ обыкновенно изъ прямыхъ параллельныхъ прутьевъ, расположенныхъ по направленію сжимающаго усилія.

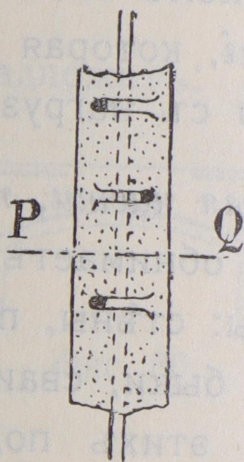
¹⁰ *Стѣны.* — Стѣны должны сопротивляться изгибу въ направленіи вертикальномъ. Поэтому, главные, прямые бруски располагаются вертикально, а стержни распределенія дѣлаются горизонтальными. Для противодѣйствія скалывающему

усилію и тѣ и другіе соединяются поперечными связями.

Фиг. 84 и 85 показываютъ, какимъ образомъ Непнебіе разрешаетъ задачу примѣненія желѣзобетона къ постройкѣ стѣнъ. Видоизмѣняя, согласно спеціальнымъ условіямъ свою систему, онъ достигаетъ прекрасныхъ результатовъ. Вертикальные бруски размѣщаются въ шахматномъ порядкѣ



Фиг. 84.



Фиг. 85.

то у одной, то у другой грани стѣны и соединяются съ массой бетона посредствомъ скобокъ.

Въ системѣ Ransome, подобной предыдущей, примѣняются скрученные бруски. Система Dégon'a характеризуется горизонтальными витыми проволоками. Въ системѣ Rabitz арматура состоитъ изъ металлическаго полотна, а въ системѣ цѣльно-рѣшетчатаго металла изъ круглыхъ вертикальныхъ брусковъ, вокругъ которыхъ обвиты листы этого металла.

Укажемъ еще на системы Monier-Chandy, Huguet,

Luther и Gesche. Въ трехъ послѣднихъ употребляются подвижные, ранѣе заготовленные, щиты.

2⁰ *Столбы*.—Столбы состояются изъ вертикальных брусковъ, погруженныхъ въ цементъ и соединенныхъ другъ съ другомъ посредствомъ горизонтальных распорокъ. Столбы могутъ быть



Фиг. 86.

квадратные, прямоугольные, многоугольные, круглые и даже иногда пустотѣлые, причемъ пустотами пользуются для прокладки трубъ и проволокъ. Вертикальные бруски дѣлаются круглаго или квадратнаго сѣченія и соединяются между собою распорками, причемъ эти послѣднія иногда скрѣпляются съ ними, иногда нѣтъ (системы Hennebique, Boussiron, Dégon, Wayss, Ransome, Pavin de Lafarge, Harel de la Noë). Есть также системы, въ которыхъ главные бруски дѣлаются изъ фасоннаго желѣза; цѣльность всей арматуры обеспечивается въ нихъ распорками (системы Vonna, Roebling, цѣльно-рѣшетчатаго металла). Есть, наконецъ, арматуры изъ кривыхъ стержней, ничѣмъ между собою не связанныхъ (система Matrai).

Кривыя части, подверженныя сжатію.—Къ этой категоріи относятся своды, трубы, резервуары, галлерей и т. п. въ тѣхъ случаяхъ, когда они подвержены внѣшнему давленію. Всѣ эти со-

оруженія должны работать главнымъ образомъ на сжатіе и частью на изгибъ.

Арматура составляется изъ *стержней сопротивленія*, изогнутыхъ въ видѣ круговъ или спиральныхъ колецъ и *стержней распределенія*, расположенныхъ параллельно производящимъ свода. Въ виду того, что давленіе направлено извнѣ, прямые бруски помѣщаются ближе къ наружной поверхности свода отдѣльно отъ колецъ, которыя располагаются возможно ближе къ внутренней поверхности. Отдѣльныя части рѣшетки соединяются между собою связками. Изъ главнѣйшихъ системъ назовемъ Monier, Bordenave, Bonna, Chassin и Cottancin.

Кривыя части, подверженныя растяженію.— Къ этой категоріи относятся трубы, подверженныя внутреннему давленію. Арматура составляется изъ стержней, помѣщаемыхъ внутри круговъ или спиралей, расположенныхъ около выпуклой стороны трубы. Желѣзо-бетонныя трубы, предназначенныя для водопроводовъ, первое время по ихъ изготовленіи пропускаютъ воду, что объясняется существованіемъ въ цементномъ растворѣ поръ. Но въ послѣдствіи, при пользованіи трубой, мало-по-малу растворенная въ протекающей водѣ углекислота образуетъ съ составными элементами цемента нерастворимое соединеніе, которое заволакиваетъ трубу и дѣлаетъ ее совершенно водонепроницаемой.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Матеріалы, употребляемые въ желѣзо-бетонныхъ сооруженіяхъ.

1. *Металлъ.*—Металлъ играетъ очень важную роль въ желѣзо-бетонныхъ сооруженіяхъ, такъ какъ именно онъ долженъ оказать сопротивленіе всѣмъ опаснымъ усиліямъ. Въ предыдущей главѣ мы видѣли, что желѣзо для арматуры употребляется обычнаго типа, а именно: въ видѣ уголковъ, тавровъ, двутавровъ, желѣза круглаго, полосоваго, квадратнаго и т. п. Достать его нетрудно, ибо всѣ эти сорта въ большомъ употребленіи на рынкѣ. До настоящаго времени для арматуръ примѣнялось почти исключительно желѣзо, но теперь успѣшно конкурируетъ съ нимъ въ этомъ отношеніи сталь. Нѣкоторые строители и, между прочимъ, Куанье уже нѣсколько лѣтъ какъ замѣнили желѣзо сталью. Въ арматурахъ изъ фасоннаго желѣза (типы Mélan, Bordeneuve, Wonna и пр.) теперь всегда предпочитаютъ сталь. Накоонецъ, и цѣльно-рѣшетчатый металлъ также изготовляется изъ стали.

По цѣнѣ желѣзо и сталь почти одинаковы, но зато послѣдняя имѣетъ преимущества съ точки зрѣнія сопротивляемости. Въ то время, какъ въ желѣзѣ почти никогда не допускаютъ напряженія больше 10 киллограммовъ на кв. миллиметръ, въ стали вполнѣ безопасно доводить таковое до 15 клг.

Вопросъ о выборѣ того или другого металла, вопросъ требующій осторожнаго къ себѣ отношенія изученъ инж. Christophe. По его мнѣнію, замѣна желѣза сталью желательна во всѣхъ сильно нагруженныхъ частяхъ, но таковая должна сопровождаться улучшеніемъ качества бетона. Въ обычной практикѣ почти не разнообразятъ состава бетона, а потому замѣной желѣза сталью можетъ быть достигнуто болѣе значительное сопротивление всего сооруженія въ томъ лишь случаѣ, если увеличивается допускаемое напряженіе для бетона, а это можетъ оказаться опаснымъ. Въ противномъ же случаѣ, довести напряженіе въ арматурѣ до предѣльнаго можно, лишь увеличивая высоту балки и кубическое содержаніе бетона. По сдѣланнымъ расчетамъ оказывается, что нѣтъ особой выгоды въ употребленіи стали вмѣсто желѣза.

Геннебикъ говоритъ, что на стали можно остановить выборъ въ случаѣ вертикальныхъ опоръ, для половъ же предпочтительнѣе хорошо прокатанное желѣзо № 3.

Желѣзо, употребляемое для арматуръ, должно быть таково, чтобы въ круглыхъ стержняхъ оно

выдерживало на разрывъ не менѣе 35 кл. на кв. миллиметръ и давало удлиненія въ 8—12% на 0,2 м. длины. Проволока, предназначенная для связыванія, должна быть отождена.

Сталь требуется мягкая, выдерживающая на разрывъ не менѣе 42 клг. и не болѣе 50 клг. на кв. миллим. при удлинении въ 20—24⁰/₀.

При изготовленіи „цѣльно-рѣшетчатого металла“ берется самая мягкая сталь высшаго качества насколько возможно чистая. Временное сопротивление ея равно 35—40 клг. на кв. миллиметръ при удлинении въ 25—26⁰/₀ на 0,1 метра.

Соединеніе фасонныхъ желѣзныхъ частей производится обыкновенно при помощи накладокъ. Въ резервуарахъ и трубахъ Куанье образуетъ направляющіе круги, спаивая оба конца брусковъ электрическимъ способомъ. Желѣзо изготовляется на заводахъ большими партіями и поступаетъ на рынокъ въ видѣ брусковъ опредѣленной длины. Если требуется согнуть желѣзные бруски, то дѣлаютъ это, вообще, холоднымъ способомъ, для чего пользуются спеціальными машинами.

2. Цементный бетонъ.—Быстро схватывающійся цементъ употребляется лишь въ спеціальныхъ случаяхъ, когда требуется непосредственное схватываніе, на примѣръ, при ремонтныхъ работахъ и въ нѣкоторыхъ гидротехническихъ сооруженіяхъ. Главнымъ образомъ, этотъ цементъ находитъ себѣ примѣненіе при изготовленіи желѣзобетонныхъ трубъ системъ Bordenave, Vonna и др., потому что заливка здѣсь можетъ производиться

быстро, только затворять цементъ нужно небольшими партіями и съ большимъ количествомъ воды.

Настоящій цементъ, употребляемый для желѣзо-бетонныхъ работъ,—это портландскій, искусственный, медленно схватывающійся. Онъ долженъ удовлетворять по своимъ качествамъ всѣмъ нормамъ, установленнымъ для общественныхъ работъ, и, въ частности, отличаться очень большимъ сцѣпленіемъ съ металломъ и постоянствомъ объема. Необходимо также убѣдиться, насколько правильно происходитъ его схватываніе.

Шлаковые цементы еще мало примѣнялись для желѣзо-бетонныхъ работъ. При постоянствѣ состава они даютъ хорошіе результаты, но въ томъ-то и дѣло, что несмотря на массу усовершенствованій, введенныхъ при ихъ изготовленіи, этого постоянства всетаки нѣтъ: цементы получаютъ различныхъ качествъ, потому что шлаки измѣняютъ свой химическій составъ сообразно тѣмъ минераламъ, изъ которыхъ происходятъ.

Песокъ для бетона необходимъ чистый, съ угловатыми зернами, при растираніи въ рукѣ онъ долженъ издавать скрипъ. Величина его зеренъ зависитъ отъ толщины сооружаемой части и ширины петель въ металлической арматурѣ. Иногда употребляютъ только одинъ песокъ съ цементомъ, безъ щебня, образуя, такимъ образомъ, просто растворъ. Это дѣлается въ сооруженіяхъ малой толщины, и при работахъ по системѣ Монье. Чаще же всего смѣшиваютъ песокъ съ мелкимъ гравіемъ или щебенкой. Во всякомъ случаѣ, про-

порції песку и гравію различной крупности должны быть опредѣлены самымъ тщательнымъ образомъ.

Иногда песокъ и гравій замѣняютъ окалиной. Получающійся при этомъ бетонъ—болѣе легокъ, плохо проводитъ тепло и звукъ, впитываетъ влажность изъ воздуха, и удобенъ въ томъ отношеніи, что въ него можно забивать гвозди. Къ сожалѣнію, такой бетонъ уступаетъ по силѣ сопротивленія обыкновенному бетону изъ песку и можетъ оказаться вреднымъ для металла.

Пропорції составныхъ частей бетона имѣютъ очень большое вліяніе на его качества. Эти пропорції зависятъ отъ рода сооруженія. Если имѣютъ въ виду возможно бѣольшую сопротивляемость, то нужно употреблять бетонъ, богатый цементомъ, но все же больше 400—500 клг. цемента на 1 куб. метръ песку почти никогда не берется. При бетонѣ составомъ: 500 и болѣе клг. цемента на куб. метръ песку, Консидеръ рекомендуетъ металлическую арматуру дѣлать изъ стали, т. к. это составляетъ нѣкоторую экономію. Когда хотятъ достигнуть водонепроницаемости, то богатство бетона цементомъ необходимо для достиженія возможно меньшей пористости. Хорошо, въ этомъ случаѣ, покрыть поверхность кладки штукатуркой изъ раствора, содержащаго по крайней мѣрѣ одну часть цемента на одну часть песку.

Для сооруженій, возводимыхъ на воздухѣ, согласно указаніямъ Консидера, предпочтительнѣе брать тощій растворъ, при чемъ требуется насколько возможно дольше поддерживать влажность

въ кладкѣ, для сооруженій же подводныхъ слѣдуетъ, наоборотъ, брать жирный растворъ, не превосходя, однако, пропорціи: 800 — 900 клг. цемента на метръ песку, пропорціи, дающей прочность и достаточную водонепроницаемость.

Составъ употребляемаго въ дѣло бетона бываетъ различный. Мы приведемъ здѣсь данныя по объему и по вѣсу.

1^o Система *Monier*.—Для плитъ и половъ: 1 объемъ цемента на 3 объема песку; для сводовъ: 1 объемъ цемента на 4—4,5 песку.

Система *Mélan'a*. — 1 объемъ цемента на 2 объема песку и 4—гравія или щебенки.

2^o Система *Monier*.—400—450 клг. цемента на 1 куб. метр. песку.

Система *Hennebique'a*.—300 клг. цемента на 0,4 куб. метра песку и 0,5 куб. метра гравія или щебенки, что даетъ въ среднемъ 1,1 куб. метра бетона, уложеннаго на мѣсто и утрамбованнаго.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ *Hennebique* употребляетъ слѣдующія пропорціи: 300 клг. цемента на 0,15—0,25 куб. метр. песку и 1 куб. м. гравія или щебенки.

Система *Boussiron'a*.—300 клг. цемента на 0,5 м. песку и 0,7 гравія.

Система *Coignet*.—400—450 клг. цемента на 1 м. песку.

Эти правила не представляются общими, и полезно, особенно при большихъ работахъ, сдѣлать предварительные опыты для опредѣленія качества цемента, песку и гравія.

Въ заключеніе укажемъ, что вѣсь 1 куб. метра желѣзо-бетона равенъ 2500 клг.

Производство работъ.—Для полученія хорошихъ результатовъ мало имѣть лучшаго качества матеріалы; важно эти матеріалы употребить въ дѣло умѣючи и работу произвести тщательно и правильно.

Приготовлять бетонъ лучше механическимъ способомъ, чѣмъ ручнымъ, такъ какъ при этомъ получается бóльшая однородность и болѣе регулярная работа. Матеріалы прежде всего тщательно отмѣриваются, затѣмъ еще въ сухомъ видѣ хорошо перемѣшиваются и уже только послѣ этого поливаются водой и то понемногу. Количество воды, употребляемой для полученія раствора, измѣняется въ зависимости отъ температуры, состоянія неба, природы матеріаловъ и личныхъ привычекъ строителя. Растворъ не долженъ быть ни слишкомъ сухимъ, ни слишкомъ мокрымъ. Если бетонъ хорошо приготовленъ, то при скатываніи изъ него шарика на поверхности такового должна выступать вода и самый шарикъ не долженъ на ладони руки терять своей формы.

Чаще всего вся работа цѣликомъ исполняется на мѣстѣ; но иногда нѣкоторые элементы изготовляются заранѣе въ спеціальныхъ мастерскихъ. Этотъ послѣдній способъ производства имѣетъ свои преимущества. Онъ позволяетъ заблаговременно изготовлять части сооруженія, провѣрять ихъ форму и укладку на мѣсто производить во всякое время года. Однако строители-спеціалисты

предпочитають сооруже́нія монолитныя, возводи́мыя на мѣстѣ, какъ болѣе однородныя. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ приходится прибѣгать къ помощи формъ.

Изготовленіе формъ всегда служить для строителей предметомъ большихъ заботъ, такъ какъ онѣ составляютъ значительную долю стоимости производства и должны удовлетворять многимъ требованіямъ. Необходимо, во-первыхъ, чтобы онѣ могли выдержать безъ измѣненія своего вида давленіе массы бетона, удары при трамбованіи и вѣсъ людей, производящихъ работу. Затѣмъ онѣ должны легко собираться и разбираться и нескоро изнашиваться, чтобы ихъ можно было употребить нѣсколько разъ. Обычнымъ матеріаломъ для формъ служить дерево.

Производство бетонной кладки ведется послѣдовательными слоями небольшой толщины со тщательной трамбовкой отдѣльно каждаго слоя. Это дѣлается для достиженія бѣльшей плотности бетона и лучшей однородности всѣхъ послѣдовательныхъ слоевъ. Утрамбовку бетона производятъ спеціальными инструментами. Для уплотненія раствора въ очень узкихъ промежуткахъ пользуются особымъ ломомъ (*pieds-de-biche*). Это желѣзный стержень длиною 2 метра, оканчивающійся двумя головками, представляющими изъ себя острія толщиною отъ 0,025 до 0,01 метра.

Трамбованіе должно производиться до тѣхъ поръ, пока на поверхности бетона не покажется вода. Извѣстно, что трамбованіе сильно увеличи-

ваетъ сопротивленіе бетона, его плотность и однородность и удаляетъ избытокъ воды и содержащійся въ бетонной массѣ воздухъ. Работа эта должна производиться опытными и умѣлыми рабочими. Что же касается стыковъ, то они должны быть сдѣланы особенно тщательно. Прежній бетонъ необходимо хорошо обмыть жидкимъ цементомъ, послѣ чего новый бетонъ съ силой набрасывается на старый и тщательно трамбуется.

Необходимо при бетонированіи избѣгать всякаго перерыва работъ. Въ частности каждая отдѣльная полоса пола должда быть исполнена за одинъ разъ. Вертикальные стыки ни въ коемъ случаѣ не допускаются.

Разборка формъ должна производиться съ большой осторожностью. Раскружаливаніе сводовъ представляетъ предметъ особыхъ заботъ, и полезно подпорки кружалъ ставить на клинья или, что еще лучше, на мѣшки съ пескомъ.

По снятіи формъ, желѣзо-бетонъ имѣетъ шерховатый, мало привлекательный видъ, почему его покрываютъ болѣе или менѣе толстымъ слоемъ штукатурки. Въ среднемъ толщина ея бываетъ около 5 миллиметровъ. Штукатурка можетъ быть исполнена только спеціалистами, такъ какъ требуетъ большой аккуратности. Штукатурка должна быть сильно нажата, потомъ сглажена деревянной притиркой. Растворъ для этой цѣли берется въ пропорціи: 1—2 части цемента на 2—3 части не особенно крупнаго песку. Цементъ долженъ быть не изъ слишкомъ медленно схватывающихся.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Методы расчета, рекомендуемые главнѣйшими строителями.

Система Геннебика.—Впервые Геннебикъ примѣнилъ желѣзо-бетонъ въ своихъ сооруженіяхъ въ 1879 году. Тогда онъ имѣлъ въ виду лишь бѣольшую безопасность отъ пожара и бѣольшую легкость построекъ. Но затѣмъ мало по малу онъ увидѣлъ, что изъ сочетанія бетона съ желѣзомъ можно извлечь двоякую выгоду: и съ точки зрѣнія экономіи, и бѣольшей прочности. Онъ занялся этимъ вопросомъ, сдѣлалъ опыты и въ 1892 году, взялъ первый патентъ, въ которомъ изложилъ главные принципы своей системы. Въ слѣдующемъ же году имъ былъ взятъ другой патентъ, въ которомъ были описаны *подвѣски*, предназначенныя для соединенія вытянутыхъ и сжатыхъ брусковъ между собою. Этимъ искуснымъ строителемъ исполнено до настоящаго времени значительное число построекъ, да и теперь онъ работаетъ съ бѣольшимъ успѣхомъ.

Изложимъ теперь вкратцѣ способы расчета, примѣняемые Геннебикомъ для различныхъ сооруженийъ.

Возьмемъ балку (фиг. 87) сѣченіемъ

$$\Omega = he.$$

Пусть будетъ

FF—ея нейтральная ось;

M — наибольшій изгибающій моментъ въ килограммметрахъ;

ω' — площадь сѣченія арматуры;

r — допускаемое напряженіе для бетона на сжатіе, отнесенное къ единицѣ площади;

τ' — допускаемое напряженіе для металла на единицу площади;

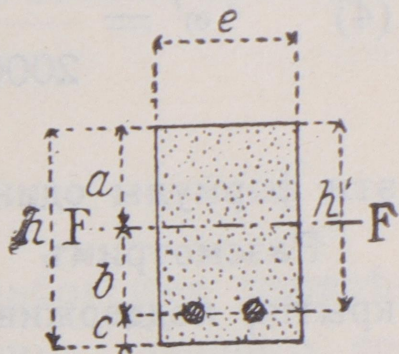
Положеніе нейтральной оси дается формулой

$$(1) \quad a = \sqrt{\frac{M}{re}},$$

а площадь сѣченія арматуры ω' опредѣляется

$$(2) \quad \omega' = \frac{M}{2b\tau'} = \frac{M}{2\tau' \left(h' - \sqrt{\frac{M}{re}} \right)}.$$

По Hennebique'у, прочное сопротивленіе бетона равно 25 клг. на квад. сантиметръ, желѣза—1000 клг. и стали 1200—1500 клг. Подставивъ эти величины въ уравненія (1) и (2) и выразивъ все въ метрахъ, получимъ



Фиг. 87.

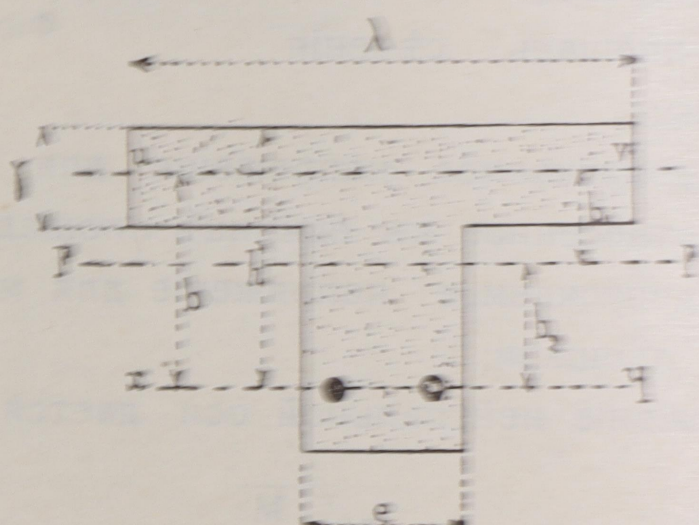
$$(3) \quad a = \sqrt{\frac{M}{250000 \epsilon}}$$

и

$$(4) \quad \omega' = \frac{M}{200000000 \left(h' - \sqrt{\frac{M}{250000 \epsilon}} \right)},$$

эти формулы одинаково пригодны и для плитъ.

Разсмотримъ теперь способъ расчета перекрытія, поддерживаемаго балкой (ф. 88). Генне-



Фиг. 88.

бикъ принимаетъ, что балка съ перекрытіемъ работаетъ какъ одно цѣлое, и получаетъ такимъ образомъ обыкновенную двутавровую балку.

Если λ, e, b, γ, p и ω' заранее извѣстны, то положеніе нейтральной оси опредѣляется по формулѣ:

$$(5) \quad b_1 = - \frac{B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A},$$

гдѣ

$$(6) \quad \begin{cases} A = pe \\ B = 2p\lambda\gamma + 2\omega'\tau' - pe\gamma \\ C = 2\omega'b\tau' - \frac{1}{4}\gamma^2 pe. \end{cases}$$

Когда известно b_2 , площадь сѣченія арматуры ω' дается уравненіемъ:

$$(7) \quad \omega' = \frac{M}{2b_2\tau'}.$$

Обозначимъ черезъ K —наибольшее перерѣзывающее усиліе, т. е. величину спорнаго сопротивленія. Непнебіке полагаетъ, что половина этого усилія воспринимается кривыми брусками, а половина подвѣсками. Пусть θ_m будетъ наибольшее допускаемое напряженіе въ металлѣ на скалываніе. Тогда изъ формулы

$$(8) \quad \sigma = \frac{K}{2\theta_m}$$

получается полное сѣченіе подвѣсокъ σ для длины балки, равной разстоянію между центрами сжатія и растяженія, т. е. $h' = \gamma/2$. Если разстояніе Δx между двумя первыми подвѣсками, ближайшими къ опорѣ, отличается отъ этой величины, то и сѣченіе подвѣсокъ пропорціонально измѣняется.

Для опредѣленія сопротивленія столбовъ и стѣнъ Непнебіке допускаетъ, что и въ бетонѣ, и въ арматурѣ напряженія одновременно могутъ быть доведены до предѣльныхъ величинъ, а потому можно написать просто

$$(9) \quad P = \tau\Omega + \tau'\omega'.$$

Было бы слишкомъ долго перечислять всѣ многочисленныя примѣненія системы Hennebique'a, а потому укажемъ только нѣкоторыя изъ нихъ, а именно: перекрытіе канала Martinetto въ Италіи, полы въ Маломъ Дворцѣ Искусствъ, покрытіе выходящаго на фасадъ зала въ Большомъ Дворцѣ



Фиг. 89.

Искусствъ, набережныя въ Соутгамптонѣ, покрытіе выемки желѣзной дороги Moulineaux, полы въ госпиталѣ призрѣваемыхъ дѣтей, одежду откосовъ въ каналѣ Terneuzen, большія Нантскія мельницы, уширеніе полотна окружной желѣзной дороги въ Парижѣ, крыши новыхъ магазиновъ „Bon Marché“ въ Парижѣ, террасу въ складѣ сахара въ Кале, куполъ надъ большимъ заломъ въ лѣчебномъ заведеніи въ Виши, нѣсколько

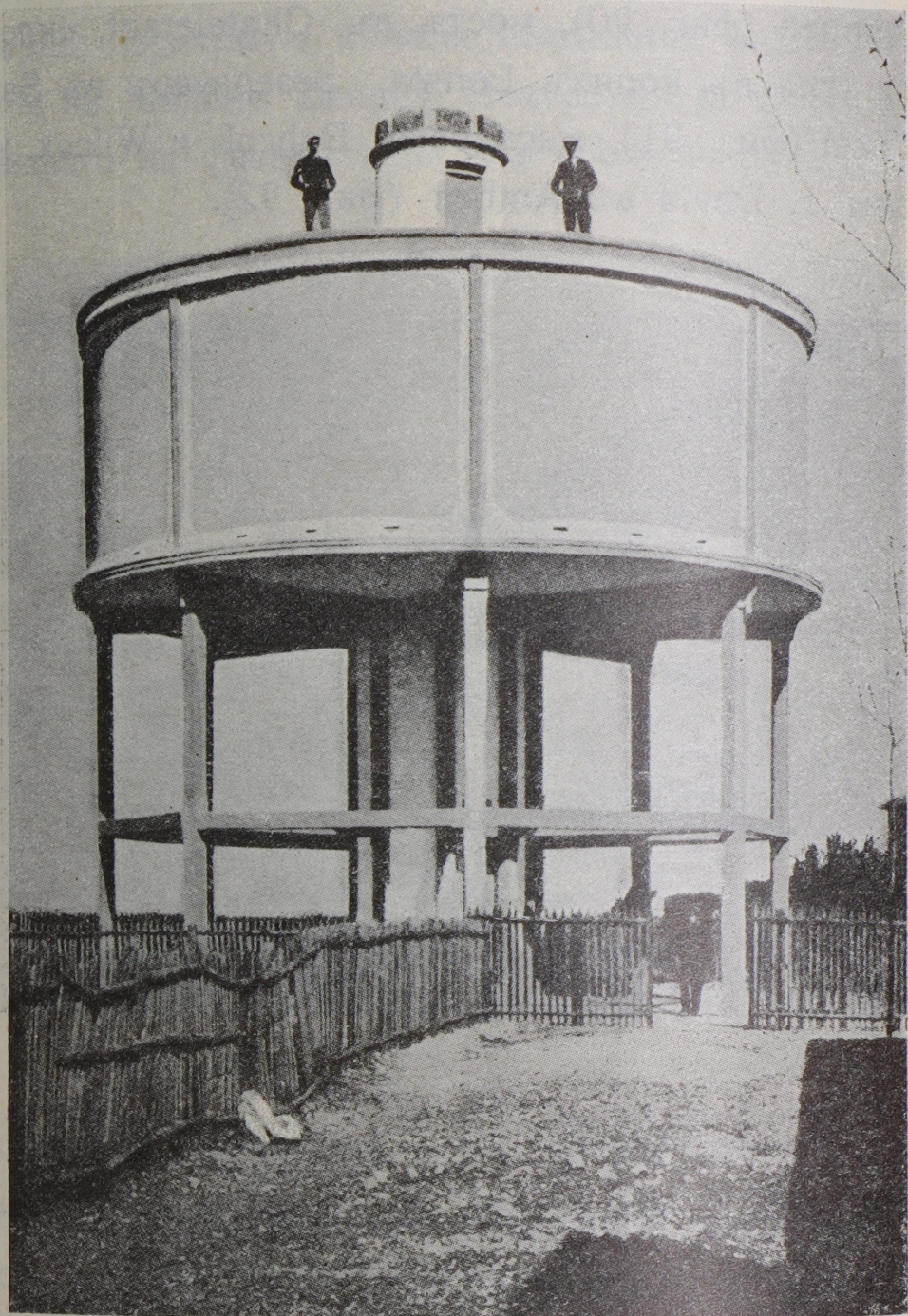
лѣстницъ въ Большомъ и Маломъ Дворцахъ Искусствъ, домъ № 1 на улицѣ Danton въ Парижѣ, пѣшеходный мостъ въ Lorient (фиг. 89), мостъ въ Ettlingen (фиг. 90), мостъ въ Chateleraut, силосъ для угля въ кояхъ Lens'a, резервуаръ въ Saint Marcel (фиг. 91), мастерскія Babcock и Wilcox, навѣсы г. Devis въ Ambès (фиг. 92).



Фиг. 90.

Система Куанье. — На Всемирной Выставкѣ 1855 года демонстрировалось судно, корпусъ котораго былъ сдѣланъ изъ металлическаго каркаса, облѣпленнаго тонкимъ слоемъ цементнаго раствора. Каркасъ этотъ состоялъ изъ круглыхъ желѣзныхъ прутьевъ, скрѣпленныхъ между собою посредствомъ связокъ.

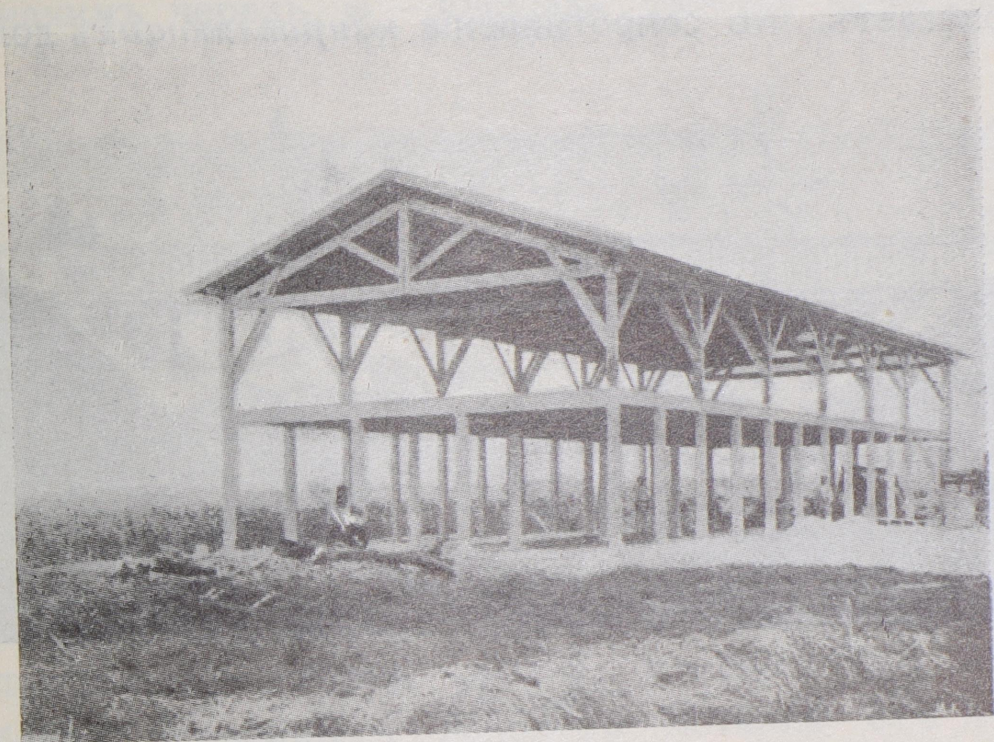
Франсуа Куанье предугадалъ ту выгоду, которую можно было извлечь изъ такого сочетанія желѣза



Фиг. 91.

съ бетономъ. Еще въ 1861 году онъ въ одной брошюрѣ указалъ на преимущества, получаемыя при употребленіи анкеровъ въ кладкѣ или въ бе-

тонъ и достигаемаго при этомъ значительнаго сцѣпленія. Эдуардъ Куанье продолжалъ работы своего отца и въ 1888 году изложилъ въ докладѣ Обществу гражданскихъ инженеровъ свои предположенія о размѣщеніи бетона и желѣза. При сотрудничествѣ Тедеско онъ выработалъ способы



Фиг. 92.

расчета и результаты своихъ изслѣдованій доложилъ тому же Обществу.

Главные выводы, къ которымъ пришелъ Э. Куанье въ своихъ изслѣдованіяхъ таковы:

1⁰ Необходимо вытянутую и сжатую части арматуры соединять между собою металлическими связями;

2⁰ Желательно употребленіе круглаго желѣза и съ точки зрѣнія большей цѣльности бетона и лучшаго его соединенія съ металломъ;

3^о Допускаемое удлиненіе желѣзо-бетона можетъ быть въ 20 разъ больше такового для простаго бетона.

Э. Куанье много способствовалъ распространенію желѣзо-бетонныхъ сооружений. Ниже изложены нами употребляемые имъ способы расчета.

По отношенію къ трубамъ этотъ строитель полагаетъ, что сопротивленіе *направляющихъ* дол-



Фиг. 93.

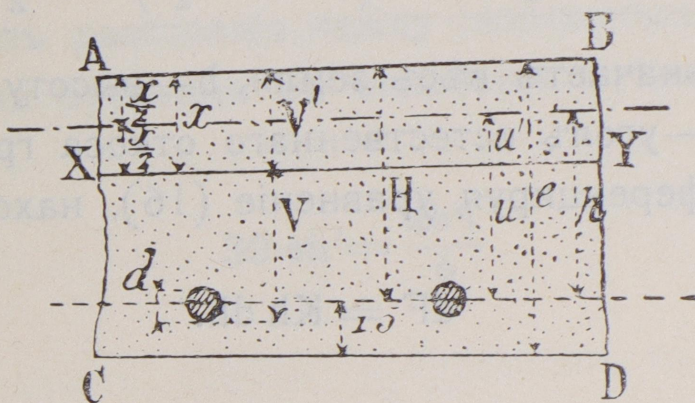
жно быть равно сопротивленію металлической трубы желѣзной или чугунной, толщина которой или объемъ V на кв. метръ поверхности стѣнки дается формулой

$$(10) \quad V = \frac{pD}{2R},$$

гдѣ p —величина давленія въ килограммахъ на кв. метръ, D —внутренній діаметръ трубы, R —прочное сопротивленіе металла на растяженіе въ килограммахъ на кв. метръ.

Для расчета *производящихъ* площадь желѣзобетона между двумя *производящими* рассматривается какъ плита, задѣланная двумя концами. Величину R —Куанье принимаетъ равной 12 клг. на кв. мил. для желѣза и 15—для стали.

Возьмемъ плиту толщиною e (фиг. 94) и обозначимъ черезъ ω' —площадь сѣченія арматуры,



Фиг. 94.

R' —сопротивленіе металла вытягиванію, R —сопротивленіе бетона сжатію, V —разстояніе наиболѣе удаленныхъ волоконъ металла отъ нейтральной оси X и M —изгибающій моментъ. Для опредѣленія величины x Куанье предлагаетъ формулу

$$(11) \quad x = \frac{8}{5} \omega' \frac{R'}{R};$$

принимая R' равнымъ 1500, R —40 и подставляя эти величины въ формулу (11), имѣемъ:

$$(12) \quad x = 60 \omega' \text{ въ метр.}$$

Практическія формулы Куанье таковы:

$$(13) \quad \omega' = \frac{2}{3} N \text{ въ кв. сант.};$$

$$(14) \quad x = \frac{2}{5} H$$

$$(15) \quad M = 6,4 H^2.$$

При расчетѣ подпорныхъ стѣнокъ давленіе земли на стѣну Куанье опредѣляетъ по формулѣ:

$$(16) \quad F = \frac{\delta}{2} h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{K h^2}{2}$$

гдѣ δ означаетъ вѣсъ земли, h —высоту земляного слоя, φ —уголъ естественнаго откоса грунта.

Дифференцируя уравненіе (16), находимъ:

$$(17) \quad dF = K h \, dh.$$

Это равенство выражаетъ давленіе, производимое землею на стѣну шириною въ одинъ метръ на рассматриваемой высотѣ. Куанье дѣлаетъ подпорныя стѣнки въ видѣ вертикальнаго *перекрытія* возрастающей толщины, поддерживаемаго контрфорсами, впущенными въ грунтъ или расположенными извнѣ. Изгибающій моментъ, дѣйствующій на перекрытіе равенъ $\frac{K}{2} h^2 \frac{l^2}{8}$, гдѣ l —разстояніе между контрфорсами. Толщина стѣны e на высотѣ h дается формулой

$$(18) \quad e = \sqrt{\frac{1}{80} K h^2 l^2} = h l \sqrt{\frac{K}{80}}.$$

Изгибающій моментъ, дѣйствующій на контрфорсы имѣетъ величину $\frac{K}{2} h^2 l \frac{h}{3} = \frac{K h^3 l}{6}$. При

расчетъ контрфорсовъ Куанье разсматриваетъ ихъ независимо отъ перекрытія.

Предположимъ, что арматура будетъ составлена изъ двухъ паръ брусковъ. Задавшись величиною сѣченія σ каждаго изъ этихъ брусковъ, получимъ для изгибающаго момента такое выраженіе:

$$(19) \quad M = 2 \sigma h' \times 15 \text{ килограммовъ,}$$

гдѣ h' есть разстояніе между сжимаемыми и вытягиваемыми брусками въ основаніи стѣнки. Уравненіе

$$(20) \quad 30 \sigma h' = \frac{K h^3 l}{6}$$

даетъ

$$(21) \quad h' = \frac{K h^3 l}{180 \sigma}.$$

Изъ работъ, исполненныхъ Куанье, назовемъ Ашерскую трубу, водяной замокъ на Всемирной Выставкѣ 1900 года и пр.

Система Matrai. — Венгерскій инженеръ Matrai уже давно работаетъ надъ желѣзо-бетономъ, и, между прочимъ, имъ придумана система, въ которой металлическій остовъ такъ сконструированъ, что всѣ усилія воспринимаются цѣликомъ имъ однимъ совершенно независимо отъ сопротивленія бетона. Въ этой системѣ арматура составляется изъ стальныхъ проволокъ, свободно подвѣшенныхъ въ видѣ цѣпи и работающихъ исключительно на растяженіе. Металлическая сѣтка подобна паутинѣ, нити которой прочно закрѣплены

на опорахъ. Эти проволочныя нити и передають непосредственно всѣ усилія на опоры.

При примѣненіи своей системы *Matrai* допускаетъ, что очертаніе цѣпи приближается къ параболѣ настолько, что можно примѣнять всѣ свойства этой кривой. Въ случаѣ балки, равномерно нагруженной, во всѣхъ сѣченіяхъ арматуры развивается одинаковое вытягивающее напряженіе. Обозначивъ черезъ Q полную нагрузку, l —величину пролета перекрытія, f —стрѣлу провѣса проволоки, T —вытягивающее напряженіе, можемъ написать

$$(22) \quad T = \frac{Ql}{8f},$$

и

$$(23) \quad f = \frac{5}{8} \cdot \frac{pl^4}{48EI},$$

гдѣ p —равномѣрная нагрузка на погонный метръ; но для балки высотой h , $p = \frac{16RI}{hl^2}$ и, слѣдовательно,

$$(24) \quad f = \frac{Rl^2}{4,8Eh}.$$

Для желѣза

$R = 8 \times 10^6$ на кв. метръ, а $E = 20 \times 10^{10}$; подставляя эти величины въ уравненіе (24) получаемъ

$$(25) \quad f = \frac{1}{12\,000} \frac{l^2}{h}.$$

Вотъ какимъ образомъ *Matrai* опредѣляетъ деформации канатовъ. Пусть l будетъ длина каната,

f — стрѣла провѣса подъ дѣйствіемъ нагрузки δ на mt^2 , R — сопротивленіе металла на единицу площади сѣченія. Если балка провисаетъ на величину Δf , то полная стрѣла прогиба будетъ $\Delta f + f$. Необходимо найти уравненіе, которое бы связало величины Δf и R . Извѣстно, что длина дуги параболы дается формулой

$$(26) \quad S = l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 - \frac{32}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^4 \right];$$

замѣняя f черезъ $f + \Delta f$, получаемъ

$$(27) \quad s + \Delta s = l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f + \Delta f}{l} \right)^2 - \frac{32}{5} \left(\frac{f + \Delta f}{l} \right)^4 \right],$$

или, раскрывъ скобки и отбросивъ высшія степени Δf ,

$$(28) \quad \begin{cases} s + \Delta s = l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 + \frac{16}{3} \cdot \frac{f \cdot \Delta f}{l^2} - \right. \\ \left. - \frac{32}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^4 - \frac{128}{5} \cdot \frac{f^3 \cdot \Delta f}{l^4} \right]. \end{cases}$$

Вычитая изъ уравненія (28)-го — (26)-е имѣемъ:

$$(29) \quad \Delta s = l \left[\frac{16}{3} \times \frac{f}{l} \times \frac{\Delta f}{l} - \frac{128}{5} \times \left(\frac{f}{l} \right)^3 \times \frac{\Delta f}{l} \right];$$

замѣтивъ что $\Delta s = s \times \frac{R}{E}$ и замѣнивъ s его значеніемъ изъ уравненія (26), получаемъ:

$$(30) \quad \frac{\Delta f}{l} = \frac{R \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 - \frac{32}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^4 \right]}{E \left[\frac{16}{3} \cdot \frac{f}{l} - \frac{128}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^3 \right]},$$

или, пренебрегая степенями $\frac{f}{l}$ выше первой,

$$(31) \quad \frac{\Delta f}{l} = 0,19 \frac{R}{E} \cdot \frac{1}{f}.$$

Эта формула позволяет вычислить стрѣлу прогиба въ желѣзо-бетонномъ сооруженіи системы Martai.

Для расчета столбовъ этотъ инженеръ даетъ нижеслѣдующія формулы. Если столбъ имѣетъ квадратное сѣченіе площадью $s = a^2$ кв. сантим. и если P есть полная нагрузка на столбъ, то должно имѣть мѣсто равенство:

$$(32) \quad a = \sqrt{\frac{P}{25}},$$

гдѣ 25 есть допускаемое для бетона напряженіе на сжатіе въ клг. на кв. сантим. Площадь сѣченія ω' въ кв. сантим. одного изъ четырехъ прутьевъ дается формулой

$$(33) \quad \omega' = \frac{150 l^2}{R} = 0,1 l^2,$$

гдѣ l — высота столба, а R — допускаемое напряженіе для желѣза — принятое въ 1500 клг. на кв. сантим.

Въ случаѣ восьмиугольнаго столба, діаметръ d круга, описаннаго около восьмиугольника, дается уравненіемъ:

$$(34) \quad d = 2 \sqrt{\frac{P}{2 \times 25 \sqrt{2}}}.$$

Прутья рассчитываютъ такъ же, какъ и въ кв. столбахъ такой же высоты.

Matrai возвелъ, вообще, много сооруженій большой важности. Укажемъ между прочимъ полы въ домѣ пансіона ордена Почетнаго Легіона въ С.-Дени, полы на фабрикѣ Люмьера въ Ліонѣ, силосъ для цемента въ Chantemelle, и небесный глобусъ на Всемирной выставкѣ 1900 года.

Система Вонна. — Въ 1893 г. Вонна придумалъ особую систему желѣзо-бетонныхъ сооруженій, имѣя единственно въ виду постройку трубъ, достаточно прочныхъ и водонепроницаемыхъ и вмѣстѣ съ тѣмъ быстро и дешево изготовляемыхъ. При этомъ онъ старался осуществить слѣдующія условія:

1⁰ Арматура должна сопротивляться одна всѣмъ внѣшнимъ и внутреннимъ усиліямъ; роль раствора сводится лишь къ равномерному распредѣленію сжатія или растяженія между дугообразными брусками и къ достиженію непрерывной стѣнки, необходимой для водонепроницаемости.

2⁰ Продольные бруски арматуры должны быть достаточно прочны, чтобы не изгибаться даже безъ помощи цемента, дѣйствіе котораго не только равно нулю, но даже отрицательно при заливкѣ раствора въ форму.

Вонна выбралъ крестообразное желѣзо въ виду того, что оно обладаетъ двумя существенными необходимыми ему свойствами: достаточной жесткостью и большой поверхностью сцѣпленія на единицу сѣченія.

Въ системѣ Вонна расчетъ дѣлается очень просто. Законъ диссиметріи, принимаемый этимъ строителемъ, одинъ изъ самыхъ простыхъ: если ω' —сѣченіе нижнихъ брусковъ, рассчитываемыхъ на всю нагрузку, то для верхнихъ брусковъ принимаютъ $\frac{2}{3} \omega'$. Пусть M будетъ изгибающій моментъ внѣшнихъ силъ, приложенныхъ къ прямой балкѣ, свободно лежащей на двухъ опорахъ. Тогда ω' —сѣченіе нижней части арматуры—дается формулой:

$$(35) \quad \omega' = \frac{M}{15 h},$$

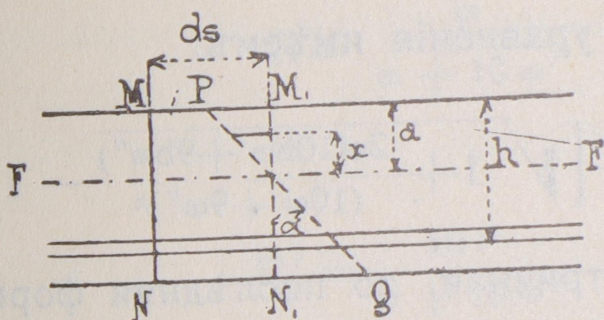
гдѣ h —разстояніе между центрами тяжести верхней и нижней частей арматуры. Сѣченіе ω'' —верхней части арматуры—равно

$$(36) \quad \omega'' = \frac{2}{3} \omega' = \frac{2 M}{45 h}.$$

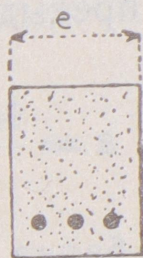
Этотъ способъ расчета избавляетъ отъ необходимости опредѣленія положенія нейтральной оси, занимающаго много времени.—Вонна исполнено много канализаціонныхъ работъ, изъ которыхъ назовемъ нагнетательную трубу Аржен-тейльской галлерей, распредѣлительную сѣтъ Ашерской долины, канализацію городовъ Nîmes, Brest, Méry и проч. Этимъ же строителемъ выстроены новыя мастерскія гг. Sautter-Harlé, дымовая труба на перегонномъ заводѣ Conflans-Sainte-Honorine, магазинъ фосфатовъ Sfax'a, Тулузскій мостъ черезъ каналъ du Midi, Омскій мостъ черезъ Жеръ и пѣшеходный мостъ черезъ дорогу Belle-Croix (фиг. 93).

Система Boussiron'a. — Въ этой системѣ бетонъ работаетъ только на сжатіе, вытягивающія же усилія передаются цѣликомъ на желѣзо, а потому арматуру помѣщаютъ во всѣхъ частяхъ сооруженія, въ которыхъ въ бетонѣ могутъ проявиться растягивающія напряжения. Способъ расчета, употребляемый Boussiron'омъ, основанъ на общей теоріи изгиба, примѣняемой къ разнороднымъ тѣламъ.

Обозначимъ черезъ e (фиг. 95 и 96) ширину



Фиг. 95.



Фиг. 96.

балки, ω' — площадь сѣченія арматуры, h — разстояние оси арматуры отъ верхней грани балки, a — разстояние нейтральной оси балки отъ ея верхней грани.

Это разстояние a опредѣляется формулой

$$(37) \quad a = \frac{\omega'}{e} \times \frac{E'}{E} \left(\sqrt{1 + \frac{2hEe}{E'\omega'}} - 1 \right).$$

Для отношенія $\frac{E'}{E}$ Boussiron беретъ въ среднемъ число 10. Подставивъ это число въ предыдущую формулу, получаемъ

$$(38) \quad a = \frac{10\omega'}{e} \left(\sqrt{1 + \frac{2he}{10\omega'}} - 1 \right).$$

Въ случаѣ балки съ двойной арматурой (фиг. 97), величина „а“ дается такимъ уравненіемъ:

$$(39) \quad \frac{Ee}{2} a^2 + (a-b) \omega'' (E' - E) - (h-a) \omega' E' = 0,$$

гдѣ ω' — сѣченіе нижней части арматуры, ω'' — верхней.

Принявъ, какъ и раньше,

$$\frac{E'}{E} = 10$$

изъ предыдущаго уравненія имѣемъ:

$$(40) \quad a = \frac{9\omega'' + 10\omega'}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{2e(10h\omega' + 9b\omega'')}{(10\omega' + 9\omega'')^2}} - 1 \right];$$

если балка симметричная, то послѣдняя формула можетъ быть представлена въ болѣе простомъ видѣ:

$$(41) \quad a = \frac{19\omega'}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{2e(10h + 9b')}{361\omega'}} - 1 \right].$$

Двѣ послѣднія формулы (40) и (41) могутъ быть еще болѣе упрощены, если арматура балки имѣетъ относительно небольшое сѣченіе. Въ этомъ случаѣ онѣ преобразуются такимъ образомъ:

$$(42) \quad a = \frac{10(\omega' + \omega'')}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{2e(h\omega' + b\omega'')}{10(\omega' + \omega'')}} - 1 \right],$$

и

$$(43) \quad a = \frac{20\omega'}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{He}{20\omega'}} - 1 \right].$$

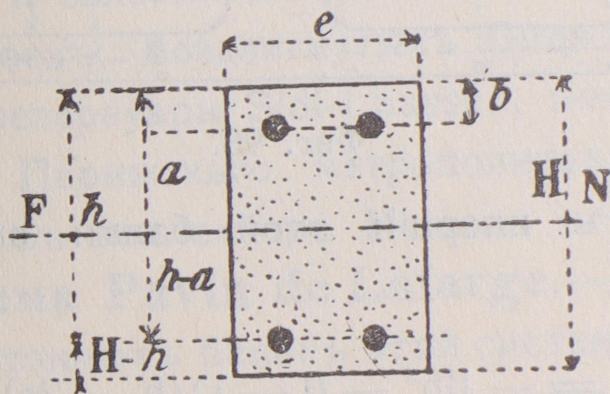
При расчетѣ частей, подверженныхъ сжатію, Boussiron принимаетъ, что и бетонъ и металлъ участвуютъ въ сопротивленіи, при чемъ работа распределяется между ними пропорціонально ихъ коэффициентамъ упругости. Обозначивъ черезъ R' —напряжение металла на кв. миллиметръ, R —напряжение бетона на кв. миллиметръ, E' —коэффициентъ упругости металла, E —коэффициентъ упругости бетона, ω' —площадь сѣченія арматуры, ω —площадь сѣченія бетона, можемъ написать

$$(44) \quad R = \frac{P}{\omega + 10 \omega'}$$

и

$$(45) \quad R' = \frac{10 P}{\omega + 10 \omega'}$$

гдѣ P —сила, дѣйствующая на рассматриваемое сооруженіе.



Фиг. 97.

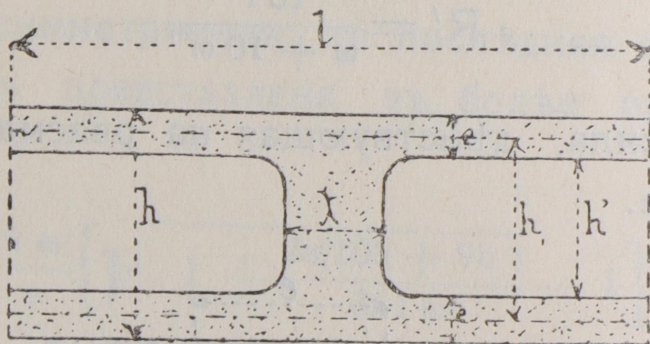
Boussiron'омъ возведены: водоемное зданіе въ La Madelaine-les-Lille, ресторанъ Конгрессовъ на Всемирной выставкѣ 1900 г. и пр.

Система Coularou.—Расчетъ балокъ и пе-

рекрытій этой системы основывается на слѣдующей гипотезѣ: временное сопротивленіе бетона при изгибѣ равняется одной трети такового при сжатіи. Coularou рассматриваетъ балку какъ задѣланную съ обоихъ концовъ, что позволяетъ ему принять для изгибающаго момента въ плоскости задѣлки формулу

$$(46) \quad M = \frac{1}{12} pl^2.$$

При расчетѣ половыхъ балокъ Coularou принимаетъ во вниманіе сопротивленіе какъ верхняго перекрытія, такъ и нижняго, образующаго потолокъ. Такимъ образомъ получается балка въ видѣ **I** (фиг. 98).



Фиг. 98.

Моментъ инерціи этой балки опредѣляется формулой

$$(47) \quad \begin{cases} I = \frac{1}{12} [lh^3 - (l - \lambda)(h - 2e)^3] = \\ = \frac{1}{12} [lh^3 - (l - \lambda)h'^3]. \end{cases}$$

Далѣе имѣемъ:

$$(48) \quad M = R \frac{I}{V} = R \frac{2I}{h}.$$

Задавшись величинами e , h и λ , опредѣляютъ перерѣзывающую силу T и вычисляютъ соотвѣтствующее напряженіе ρ въ бетонѣ изъ уравненія

$$(49) \quad \rho = \frac{T}{\omega},$$

гдѣ ω — площадь сѣченія бетона. Полное напряженіе въ бетонѣ $R + \rho$ должно быть не болѣе 33—40 клг. на кв. сант. Сѣченіе ω' арматуры опредѣляется изъ формулы

$$(50) \quad \omega' = \frac{M}{R'h'}.$$

Coularou выстроена лѣстница у гг. Ларошъ-Жуберъ въ Ангулемѣ.

Система Giros-Loucheur.—Инженеры Giros и Loucheur избрали своей спеціальностію большія канализаціонныя работы. Арматуру трубъ они составляютъ изъ круглаго желѣза, изогнутаго винтообразно и связаннаго прямыми направляющими. Изъ построекъ, воздвигнутыхъ Giros и Loucheur, укажемъ резервуары Sidi-Lhassen, помѣщенія для угля для Парижскаго метрополитана, лѣстницу для входа въ коллекторъ Marseau и др.

Система Pavin de Lafarge.—При расчетѣ желѣзо-бетонныхъ балокъ этой системы онѣ всегда считаются задѣланными обоими концами въ стѣну, даже и въ томъ случаѣ, когда свободно положены на стѣны, такъ какъ цементный растворъ сцѣпляется съ кладкой. Балки Pavin de Lafarge имѣютъ двойную арматуру и рассчитываются такъ, какъ будто бы онѣ симметричны, при чемъ бетонъ не

принимается во вниманіе. Полное сѣченіе брусьевъ получается по очень простой формулѣ

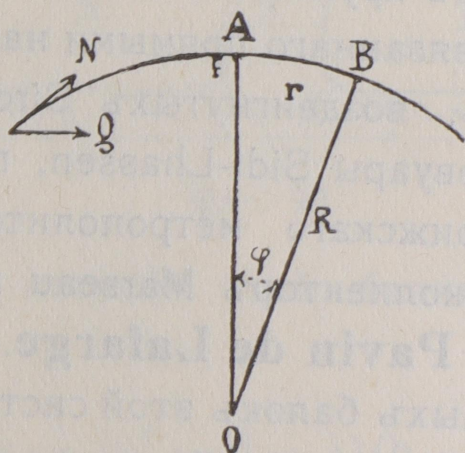
$$(51) \quad \omega' = \frac{M}{10 h},$$

гдѣ h — разстояніе между обѣими частями арматуры. Опытъ показываетъ, что пользуясь этой формулой, мы не рискуемъ получить чрезмѣрныхъ и опасныхъ напряженій въ бетонѣ

Плиты Pavin de Lafarge также разсматриваетъ, какъ задѣланныя и связанныя съ поддерживающими ихъ балками. Толщина плитъ e въ сантиметрахъ дается формулой:

$$(52) \quad e = \frac{1}{2} \sqrt{M}.$$

гдѣ M — изгибающій моментъ въ килограммометрахъ на одинъ метръ ширины плиты.



Фиг. 99.

Въ сводахъ (фиг. 99) Pavin de Lafarge рассчитываетъ арматуру по величинѣ тангенціального сжатія, опредѣляемсй въ функціи отъ полной нагрузки $2R$ и распора Q :

$$(53) \quad N = P \sin \varphi + Q \cos \varphi$$

и

$$(54) \quad Q = \frac{Pr}{2f};$$

если ω' — площадь сѣченія каждаго металлическаго бруска арматуры въ отдѣльности, а n — число ихъ, то должно быть

$$(55) \quad N = 10 n \omega'.$$

Въ числѣ примѣненій этой системы укажемъ на парники въ Hamitz, Chélif, Masséna и пр.

Система Dégon'a. — Эта система обуславливаетъ полную связь между арматурой и второстепенными связями. Площадь сѣченія нижнихъ брусковъ опредѣляется по вытягивающему усилию, на нихъ дѣйствующему и вычисляемому по формулѣ:

$$(56) \quad F = \frac{pl^2}{8h},$$

въ которой F — вытягивающее усилие, l — пролетъ балки, h — разстояніе между осями нижнихъ и верхнихъ брусковъ. Опредѣливъ F , площадь ω' получаемъ изъ равенства:

$$(57) \quad \omega' = \frac{F}{R},$$

гдѣ R — допускаемое напряженіе для металла. Верхнимъ брускамъ дается сѣченіе, равное $0,7 \omega'$.

Dégon построилъ полы въ Cuvelette à Gufse, у г. Pagnier въ Buironfosse, силосъ въ Momihnies и пр.

Система Bordenave'a.—Bordenave специализировался по гидротехническимъ работамъ. Способъ расчета, имъ примѣняемый, таковъ: пусть e будетъ толщина воображаемой трубы съ сплошной металлической стѣнкой, имѣющей тотъ же діаметръ d сантиметровъ, что и проектируемая; p —давленіе въ трубѣ, выраженное въ атмосферахъ; k — допускаемое напряженіе для стали въ килограммахъ. По Bordenave'у имѣемъ формулу:

$$(58) \quad e = \frac{1,033 \, dp}{2 \, k}.$$

Опредѣливъ e , распредѣляютъ полученное количество металла между опредѣленнымъ числомъ брусковъ, при чемъ разстояніе между ними ε дается формулой

$$(59) \quad \varepsilon = \frac{\omega'}{e},$$

гдѣ ω' — площадь сѣченія выбраннаго профиля бруска.

Главнѣйшія канализаціонныя работы Bordenave'омъ исполнены слѣдующія: въ Венеціи, въ Bône, Alfortville и пр.

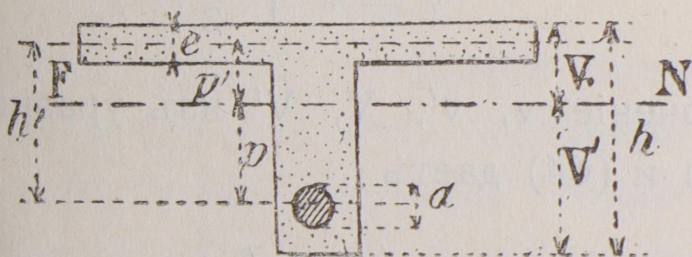
Система Cottancin'a.—Эта система—одна изъ самыхъ старинныхъ во Франціи: время ея появленія относится къ 1889 году. Суть ея заключается въ томъ, что въ остовѣ изъ металлическихъ петель помѣщаютъ множество мелкихъ частицъ бетона, работающихъ только на сжатіе. По Cottancin'у бетонъ долженъ работать только

на сжатіе, и связь между металлической арматурой и раствором должна быть абсолютной и независимой отъ сдѣпленія, на которое въ практикѣ нечего рассчитывать.

Балки системы Cottancin'a могутъ быть уподоблены американскимъ балкамъ съ рѣшетками. Онѣ имѣютъ неподвижные узлы, которые подвергаются лишь упругимъ перемѣщеніямъ въ зависимости отъ дѣйствій изгиба. Пояса укрѣпляются продольными брусками, переплетенными съ остовомъ. Къ балкамъ Cottancin'a примѣняютъ формулы, принятыя для однородныхъ тѣлъ.

Cottancin'омъ устроены полы въ лицѣ Victor Hugo, церковь Saint-Jean de Montmartre, павильонъ Республики Saint-Marin на Всемирной Выставкѣ 1900 г. и пр.

Система Société de Crèches.—Балки этой системы рассчитываются такимъ образомъ: обо-



Фиг. 100.

значимъ черезъ v и v' разстояніе отъ нейтральной оси до центровъ тяжести металла и бетоннаго перекрытія; ω — площадь сѣченія бетона въ верхнемъ поясѣ; ω' — площадь сѣченія металла; E и E' — соотвѣтствующие коэффиціенты упругости бетона и металла.

Положимъ

$$(60) \quad \frac{v'}{v} = \frac{E'}{E} \cdot \frac{\omega'}{\omega} = m \frac{\omega'}{\omega} = m \frac{R}{R'},$$

гдѣ R и R' —допускаемые напряженія для бетона и металла. Обозначивъ черезъ V и V' —разстоянія нейтральной оси отъ крайнихъ волоконъ, принимаемъ равенство максимальныхъ напряженій бетона и металла

$$(61) \quad \omega R \frac{v'}{V'} = \omega' R' \frac{v}{V},$$

откуда

$$(62) \quad \frac{\omega}{\omega'} = \frac{R'}{R} \cdot \frac{V'}{V} \cdot \frac{v}{v'} = \frac{R'}{R} \cdot \frac{v'}{v} \cdot \frac{v}{V}.$$

Отношеніе $\frac{v}{V}$ принимается равнымъ единицѣ,

$$(63) \quad v' + v = h'$$

$$(64) \quad V = v' + \frac{e}{2}.$$

Исключеніе v , v' , V , V' изъ уравненія (60), (62), (63) и (64) даетъ

$$(65) \quad \frac{\omega}{\omega'} = \frac{m \left(h' + \frac{e}{2} \right)}{h' - \frac{e}{2} \cdot \frac{R'}{R}} \cdot \frac{R'}{R};$$

Обозначивъ далѣе черезъ i и i' моменты инерціи площадей сѣченія бетона и металла относительно оси, проходящей черезъ центръ тяжести, получаемъ:

$$(66) \quad I = i + \omega v'^2 + m i' + m \omega' v^2,$$

и

$$(67) \quad \frac{I}{v'} = \omega d + \frac{i + mi'}{v'},$$

$$(68) \quad \frac{I}{mv} = \omega' d + \frac{i + mi'}{mv};$$

d опредѣляется уравненіемъ

$$(69) \quad \omega' d = \frac{M}{R'} = \frac{pl^2}{8R'}.$$

Société de Crèches сдѣланы полы въ военномъ госпиталѣ въ Ліонѣ и пр.

Нѣкоторые строители прибѣгаютъ къ способамъ расчета очень сложнымъ и принимаютъ формулы слишкомъ теоретическія. Мы полагаемъ, что нѣтъ надобности въ этого рода сооруженіяхъ вдаваться въ детали. Самые простые способы намъ кажутся наилучшими и мы совѣтуемъ ими пользоваться, особенно когда практика подтверждаетъ принятыя гипотезы.

Методы Piketty и Société Amsterdamoise de Wittenburg кажутся намъ черезчуръ научными, и потому мы можемъ на нихъ только указать, т. к. изложеніе ихъ не входитъ въ задачи нашего труда. Если же читатель хочетъ ознакомиться съ этимъ способомъ расчета желѣзо-бетонныхъ сооруженій, мы рекомендуемъ ему обратиться къ солидному труду „Желѣзо-бетонныя конструкціи“ Berger и Guillerme.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	СТР.
Предисловіе автора	3
Введеніе. Общія замѣчанія о желѣзо-бетонныхъ кон- струкціяхъ	5

ГЛАВА I.

<i>Теорія желѣзо-бетона</i>	12
Работы Christophe	19
„ Lefort	50
„ Considère.	63
„ Harel de la Noë.	74
„ Resal.	80

ГЛАВА II.

Главныя системы желѣзо-бетонныхъ сооружений. . .	84
--	----

ГЛАВА III.

Матеріалы, употребляемые въ желѣзо-бетонныхъ со- оруженіяхъ.	109
---	-----

ГЛАВА IV.

Методы расчета, рекомендуемые главнѣйшими строителями.

Система Hennebique	118
„ Coignet	123

Система Matrai.	129
" Bonna.	133
" Boussiron	135
" Coularou.	137
" Giros-Loucheur	139
" Pavin de Lafarge	139
" Dégon.	141
" Bordenave	141
" Cottancin	142
" Société de Crèches	143



ЖЕЛЪЗО-БЕТОННЫЯ
И
БЕТОННЫЯ ПОСТРОЙКИ,

ВСЯКАГО РОДА

СООРУЖЕНІЯ И КАНАЛИЗАЦІИ

ПРОЕКТИРУЕТЪ И ИСПОЛНЯЕТЪ СЪ ГАРАНТІЕЙ

СКОРО И ДОБРОСОВѢСТНО

АКЦІОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЦЕМЕНТО-БЕТОННАГО

ПРОИЗВОДСТВА,



БЫВШ. В. В. ГЮРТЛЕРЪ.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ,

Островъ Голодай, рѣка Смоленка, 25.

ТЕЛЕФОНЪ № 41 — 12.



СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ

КОНТОРА

ИНЖЕНЕРА И. БАСЕВИЧА

С.-Петербургъ, Невскій пр., № 92.

ТЕЛЕФОНЪ № 55-69.

Гражданскія и искусственныя сооружен.

Техническія оборудованія.

Бетонныя и желъзо-бетонныя сооруженія.

СТРОИТЕЛЬНОЕ БЮРО

МЕРСИО-КУТЮРЬЕ

ГЛАВНАЯ КОНТОРА: С.-Петербургъ, Кабинетская, 20.

ОТДѢЛЕНІЯ: { Москва, Страстной бульваръ, № 72.
Ревель, Контора Хр. Готтерманнъ.

ЖЕЛЪЗО-БЕТОННЫЯ СООРУЖЕНІЯ.

Постройка огнестойкихъ плоскихъ перекрытій, перегородки, стѣны, перемычки, террасы, крыши, лѣстницы, мансарды, своды, купола, колодцы, резервуары, подвалы,

МОСТЫ.

КАНАЛИЗАЦІЯ И БІОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХЪ ВОДЪ.

Проекты и смѣты бесплатно при требованіи.

„Септикъ Мэккъ“

съ
БІОЛОГИЧЕСКИМИ ОСВѢТЛИТЕЛЬНЫМИ
ФИЛЬТРАМИ

КОНТАКТНЫМИ, ОРОСИТЕЛЬН., ДВОЙН. ДѢЙСТВІЯ И МНОГО-
КОНТАКТНЫМИ СЪ АБСОЛЮТНО ТОЧНЫМИ АВТОМАТИЧЕСКИ.
РАСПРЕДѢЛИТ. АППАРАТАМИ ДЛЯ ЕДИНИЧН. ФИЛЬТРОВЪ
КАКЪ И ДЛЯ ЦѢЛ. ГРУППЪ; НА НЕОГРАН. КОЛИЧ. СТОКОВЪ.

для: ГОРОДОВЪ, СЕЛЕНІЙ, УСАДЕБЪ и отд. ДОМОВЪ.
„ БОЛЬНИЦЪ, ПРИУТОВЪ, ШКОЛЪ, КАЗАРМЪ и КОЛОНИЙ,
„ ЗАВОДОВЪ, ЖЕЛ.-ДОР. СТАНЦІЙ, БОЕНЪ и т. п.

ПРЕДЛАГАЕТЪ

ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНТОРА

А. А. ГУТКОВА.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ, Вас. Остр., 17 линія, д. № 4.

ПРЕДСТАВИТЕЛИ: въ Москвѣ, Вильнѣ, Ригѣ, Харьковѣ, Одессѣ, Сим-
ферополѣ, Баку, Тифлисѣ, Н.-Новгородѣ, Симбирскѣ и всѣхъ крупныхъ
центрахъ населенія и промышленности.

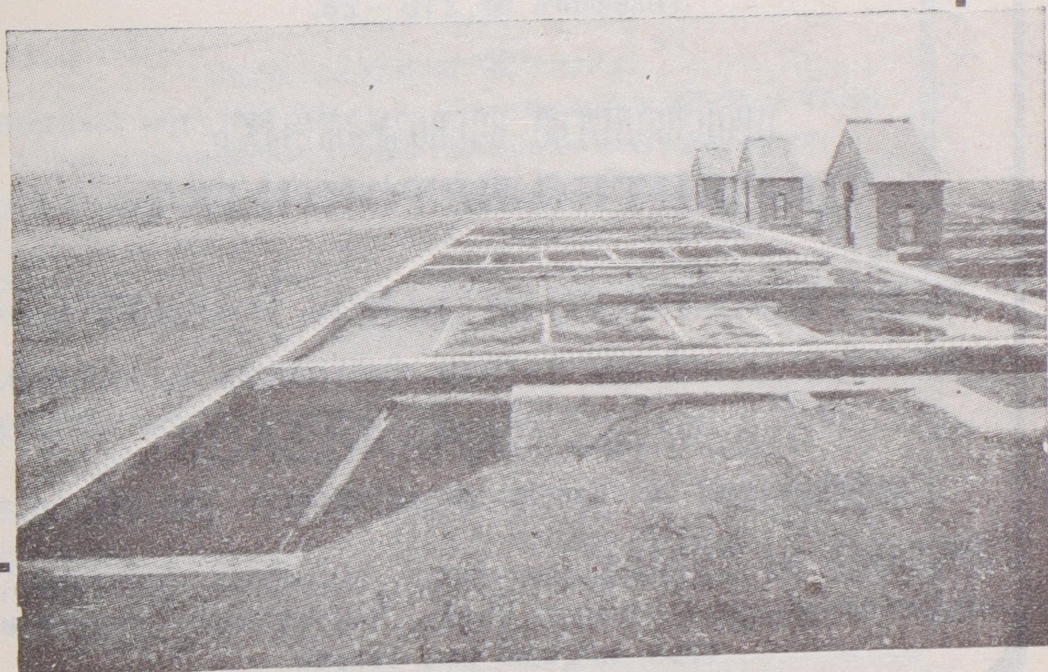
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ ИНСТАЛЛЯЦІЙ и СМѢТЫ
„Б Е З П Л А Т Н О“.

ДЛЯ МАЛЕНЬКИХЪ ИНСТАЛЛЯЦІЙ КОНТОРА ПРЕДЛАГАЕТЪ УСТАНОВКУ
„СЕПТИЧЕСКИХЪ АВТОМАТИЧЕСКИХЪ“

ВЫГРЕБОВЪ,

УСТРАНЯЮЩИХЪ ВСЯКІЙ ВЫВОЗЪ НЕЧИСТОТЪ
и ВСЯКОЕ ЗЛОВОНІЕ,

РАЗЖИЖАЯ, ОЧИЩАЯ и ОБЕЗВРЕЖИВАЯ СТОКИ.



Видъ біологич. инст. города съ 10.000 ж.

ТОАРИЩЕСТВО „СТРОИТЕЛЬ“.

КОНТОРА: В. О., 16 лин., 11. * Телеф. № 23839.

ЗАВОДЪ: В. О., 24 лин., д. 7. * Телеф. № 21127.

ВСѢ СТРОИТЕЛЬНЫЯ РАБОТЫ

и

ЦЕМЕНТНО-БЕТОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО.

Бетонныя работы: своды, полы, ямы и проч. Желѣзо-бетонныя работы: системы „МОНЬЕ“ и др. Канализація—цементными и керамиковыми трубами. Асфальтовыя работы. Плитки для половъ цементныя и метлахскія. Пустотѣлые бетонные камни. Колодцы, выгребя. Терапо-мрам. издѣлія. Ступени, ванны и др.

Всѣ цементныя издѣлія своего завода.

ПОСТОЯННЫЙ ЗАПАСЪ НА СКЛАДЪ.

ПОСТРОЙКА БЕТОННЫХЪ ДОМОВЪ.

Смѣты и прейсъ-курранты высылаются по первому требованію **БЕЗПЛАТНО.**

П. Е. ЗАВАРЗИНЪ и К^о.

Контора и мастерскія: Вас. Остр., Большой пр., д. 61.

Телефонъ № 210—28.



ПРОИЗВОДСТВО ВСЕВОЗМОЖНЫХЪ ЦЕМЕНТНО-БЕТОННЫХЪ

и

ЖЕЛѢЗО-БЕТОННЫХЪ РАБОТЪ.

ПОСТРОЙКА ЗДАНІЙ ИЗЪ БЕТОНН. ПУСТОТѢЛЫХЪ КАМНЕЙ.

**УСТРОЙСТВО КАНАЛИЗАЦІЙ,
АСФАЛЬТОВЫЯ И ДРУГІЯ СТРОИТЕЛЬНЫЯ РАБОТЫ.**

ПРОДАЖА НА СКЛАДЪ: колодцевъ, выгребовъ, фильтровъ, керамиковыхъ и бетонныхъ трубъ, пустотѣлыхъ камней и проч. издѣлій изъ бетона.

С-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЗАВОДЪ
ЖЕЛЪЗО - БЕТОННЫХЪ СООРУЖЕНІЙ

ЗАВОДЪ и КОНТОРА. Глиняная ул., № 7.

Для переговоровъ въ городѣ: 7-я Рождественск. 7, кв. 9.

ТЕЛЕФОНЪ № 40 - 99.

ОГНЕСТОЙКІЯ ЖЕЛЪЗО-БЕТОННЫЯ ПЕРЕКРЫТІЯ.
ОГНЕСТОЙКІЯ ЖЕЛЪЗО-БЕТОН. СТѢНЫ И ПЕРЕГОРОДКИ.
ЖЕЛЪЗО-БЕТОННЫЕ МОСТЫ.
КАНАЛИЗАЦІЯ и ДРЕНАЖЪ.

СКЛАДЪ
КОЛОДЦЕВЪ, ТРУБЪ И ЖЕЛЪЗО-БЕТОН. БАЛОКЪ
сист. „ЗИГВАРТЪ“ — издѣлія собств. завода.

ТОВАРИЩЕСТВО
„ЖЕЛЪЗО-БЕТОН
Инженер ГЕНРИХ ГИРШСОН и К^о.

СТРОИТЕЛЬНАЯ КОНТОРА:
Саперный пер. № 23. Телефон № 33-01 и 41-68.
Адрес для телеграмм: Желъзобетон-Петербург.

ЖЕЛЪЗО-БЕТОННЫЯ КОНСТРУКЦИИ и СКЕЛЕТНЫЯ ПОСТР.
по системамъ Монье, Матрай, Мелан, Кэнен и проч.
Огнестойкія перекрытія, своды, перегородки, балконы,
мансарды, купола, лѣстницы, вентиляц. каналы, фунда-
менты, резервуары и проч.

МОСТЫ по системѣ Мелана и др.

БЕТОННЫЯ РАБОТЫ.

БЕТОННЫЕ ДОМА, ДАЧИ, ЛЕДНИКИ и проч,
БЕТОННЫЯ и ЖЕЛЪЗО-БЕТОННЫЯ ИЗДѢЛІЯ.
Плиты Монье, трубы, колодцы, выгребы, мозаичн. ванны, цем. плитки
КАНАЛИЗАЦІОННЫЯ РАБОТЫ.

Проекты и смѣты — по первому требованію.

БОДО ЭГЕСТОРФЪ

С.-Петербургъ, Б. Зеленина, № 33.

ТЕЛЕФОНЪ № 207-99.

АСФАЛЬТОВОЕ и БЕТОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО.

Желъзо-бетонныя конструкции.

Желъзо-кирпичныя покрытія

системы Бремера. Патентъ № 7835.

Иллюстрированный каталогъ высылается бесплатно.

Контора НЕЛЬСОНЪ и К^о.

СПБ., Николаевская ул., № 65. * Телефонъ 2923.

БЕТОНЪ и ЖЕЛЪЗО-БЕТОНЪ:

постройки, фильтры, резервуары, перекрытія и проч.
АСФАЛЬТОВЫЯ РАБОТЫ.

КАНАЛИЗАЦІЯ и ДРЕНАЖЪ.
ВОДОПРОВОДЪ и КУЗНЕЧНО-СЛЕСАРН. РАБОТЫ.
Проекты и смѣты бесплатно. Умѣренные цѣны.

ЦЕМЕНТНЫЯ, БЕТОННЫЯ и ЖЕЛЪЗОБЕТОННЫЯ ИЗДѢЛІЯ

Инженера П. С. МАНДЕЛЬШТАМА.

Своды, Стѣны, Балки, Трубы, Выгреба, Колодцы.

Ступени, пустотѣлые камни.

половыя и тротуарныя цементныя плитки.

Всякія бетонныя и желъзо-бетонныя работы.

Троицкая ул., № 13.

Телефонъ № 50-74.

Въ Спб. Т-въ „Политехникъ“.

ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНТОРА
С.-Петербургской артели
Инженеровъ-спеціалист.

СОСТАВЛЕНИЕ:

проектовъ и смѣтъ и производство все-
возможныхъ строительныхъ работъ.

ОБОРУДОВАНИЕ:

фабрикъ, заводовъ и испытат. станцій.

ИСПЫТАНИЕ:

топлива и строительныхъ матеріаловъ.

УСТРОЙСТВО:

центрального отопленія, вентиляціи, водо
и газо-проводовъ, канализации, электри-
ческаго освѣщенія.

ТЕХНИЧЕСКІЯ ЭКСПЕРТИЗЫ и КОНСУЛЬТАЦИИ.

Проектирование и постройка желѣзо-бетон. мостовъ и зданій.

Адресъ: Спб., Петербургская стор., Большой просп.,
д. № 19—21, кв. 91. Телефонъ № 245—63.

Ф. МИРИТЦЪ и І. ГЕРАСИМОВЪ

АРХИТЕКТУРНОЕ и СТРОИТЕЛЬНОЕ БЮРО

С.-Петербургъ, Большая Дворянская, 22.

Адр. для тел **ФРИМИРИТЦЪ.**

Телефонъ 201-63.

ПОЛНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

КАКЪ ВЪ ПЕТЕРБУРГЪ, ТАКЪ И ВЪ ПРОВИНЦИИ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ: БЕТОННЫЯ И ЖЕЛѢЗО-БЕТОННЫЯ ПОСТРОЙКИ

подземныя и надземныя.

ОТКРЫТА ПОДПИСКА НА
ежемѣсячный журналъ техническихъ новостей, открытій и изобрѣт.

„ТЕХНИЧЕСКІЙ ВѢСТНИКЪ“

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:

1. Статьи, затрагивающія практическіе интересы фабрично-заводской техники и промышленности, какъ-то: по механической и химической промышленности, инженерному и строительному искусству, электротехникѣ, техническому образов., рабочему вопросу и социальной гигиенѣ съ рисунками и чертежами, относящимися къ тексту. 2) Мелкія замѣтки о новостяхъ техники, торгово-промышленныя и статистическія свѣдѣнія и выдающіеся патенты. 3) Обзоры дѣятельности учреждений и обществъ, имѣющихъ отношеніе къ промышленности и техникѣ, а также правительственныя распоряженія. 4) Техническая библиографія.

Изъ изложенной программы видно, что главная цѣль журнала давать лицамъ, интересующ. техникой, полезныя и необходимыя свѣдѣнія практическаго характера.

Подписная цѣна: съ доставк. и пересылкой на годъ 8 р., на полгода—5 р. Допускается разсрочка.

ЖУРНАЛЪ ВЫХОДИТЪ СЪ НОЯБРЯ.

Подп. приним. въ редакц.: Спб., Стекланый, Смоляная 9.

Ред.-Изд. Инж.-Техн. Л. Лейхманъ.

Вышла въ свѣтъ и поступила въ продажу новая книга.

Ш. ДЕМАНЭ.

КУРСЪ РАЗРАБОТКИ КАМЕННОУГОЛЬНЫХЪ МѢСТОРОЖДЕНІЙ

ПЕРЕСМОТРѢННЫЙ и ЗНАЧИТЕЛЬНО ДОПОЛНЕННЫЙ

А. Дюфранъ Деманэ.

Перевели съ послѣдняго французскаго изданія и дополнили

Горные инженеры П. Пальчинскій и І. Федоровичъ.

въ 2 томахъ съ 750 чертежами въ текстѣ.

Цѣна перваго тома—3 р.;—второго 3 р. 50 к.

СКЛАДЫ ИЗДАНІЯ:

С.-Петербургъ, Невскій, 42. Книжный складъ. „Школьное дѣло“, Фонтанка 86. Товарищество „Трудъ“. Книжные магазины Риккеръ Невскій 14. Гольстенъ Литейный пр. 28.

Вышли изъ печати и разосланы подписчикамъ
ПЕРВЫЙ и ВТОРОЙ ВЫПУСКИ Полнаго Руководства
ПО

ГРАЖДАНСКОЙ АРХИТЕКТУРЪ.

(Baukunde des Architekten).

Полный переводъ съ 5-го нѣмецкаго изданія съ примѣ-
чаніями и дополненіями инженеръ-строителей

В. Леви и В. Келдышъ

подъ редакціей гражданского инженера

А. П. ШИШКО.

Ад.-Профессора Технолог. Инст. Императора Николая I.

Подписка на все изданіе, состоящее изъ шести от-
дѣловъ, раздѣленныхъ на 13 выпусковъ **продолжается.**

УСЛОВІЯ ПОДПИСКИ:

1) Подписная цѣна на все изданіе съ доставкой и
пересылкой по всей Имперіи **10 руб.**

2) Безъ доставки **8 руб.**

3) Желашіе подписаться на какой-либо **отдѣлъ** съ
пересылкой высылаютъ по **1 рублю** за каждый выпускъ,
безъ пересылки по **80 коп.**

РАЗСРОЧКА ДОПУСКАЕТСЯ

Съ пересылкой и доставкой:

При подпискѣ. 3 р.

и затѣмъ при выходѣ
первыхъ семи выпус-
ковъ по 1 „

Безъ пересылки:

При подпискѣ 2 р.

и затѣмъ при выходѣ
первыхъ шести вѣпус-
ковъ по 1 „

все изданіе будетъ закончено въ 1907 г.

Подписка принимается въ Главной Конторѣ Товарищества
Печатнаго и Издательскаго дѣла „Народная Польза“, С.-Пе-
тербургъ, Коломенская ул. соб. домъ № 39.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА
на 1-ое полугодіе 1907 года на журналъ
ЖИЗНЬ и ТЕХНИКА.

Органъ, ставящій себѣ цѣлью развитіе классоваго самосозна-
нія и насажденіе наѣчно-техническихъ знаній среди лицъ,
занятыхъ чертежнымъ трудомъ и защиту ихъ профессио-
нально-правовыхъ интересовъ.

Журналъ выходитъ 2 раза въ мѣсяцъ.

**При достаточной подпискѣ журналъ будетъ выходить
чаще съ особыми научно-техническимн прибавленіями.**

Условія подписки: съ пересылкой и доставкой на полго-
да 1 р. 30 к., безъ пересылки 1 р. 10 к., при чемъ въ этомъ
случаѣ тамъ, гдѣ есть представители „С.-Петербургск. Проф.
Общ. Чертежниковъ“ журналъ можно получать черезъ нихъ.
Комплектъ 10 экземпляровъ: 6 — „Чертежное Дѣло“ и 4 — „Жизнь и
Техника“ за 1906 г., высылается за 70 к. Колич компл. огран.

Цѣна отдѣльнаго нумера — 10 коп.

Розн. прод. въ С.-Петербургскихъ кіоскахъ Пташникова и во
многихъ книжныхъ магазинахъ Россіи.

Плата за объявленія: На послѣднихъ страницахъ
1-я стр. — 25 р., 1/2 стр. — 15 р., 1/4 стр. 8 р. и 1/8 стр. 4 р. при
повтореніи скидка до 30%. Предложенія труда по 5 к. стр.

Редакція и контора С.-Петербургъ, Вас. О., Средній пр.
д. № 64, кв. 7. Открыта по буднямъ отъ 7 до 9 час. веч.

VI г. изд. ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА VI г. изд.

на первый и единственный въ Россіи двухнедѣл. богато-
иллюстрированный техническій журналъ, посвящен. авто-
мобилизму и примѣненію механич. двигат. для передвиженія

„АВТОМОБИЛЬ“

ЦѢНА въ годъ — 4 р., на 1/2 года — 2 р. 50 к.

РЕДАКЦІЯ: С.-Петербургъ — Литейный, 36.

Цѣль журнала — развитіе автомобилизма въ Россіи.

ПРИ ЖУРНАЛѢ УЧРЕЖДЕНА

О С О Б А Я

ТЕХНИЧЕСКАЯ СПРАВОЧНАЯ КОНТОРА,

гдѣ выдаются бесплатно всѣ справки и свѣ-
дѣнія по вопросамъ механич. передвиж.

Въ журналѣ обширный справочный отдѣлъ, всѣ новости
техники и автомобильной промышленности.

Пробный № высылается за одну 7 к. марку.

Редакт.-Издат. А. П. Аагель.

== II годъ изданія. ==
Открыта подписка на 1907 годъ
на еженедѣльный военно-литературный журналъ
„ОФИЦЕРСКАЯ ЖИЗНЬ“,

издаваемый въ Варшавѣ
(Хмѣльная улица № 14)
по значительно-расширенной программѣ:

1) Правительственныя распоряженія. 2) Вопросы военной техники, воспитанія и боевой подготовки войскъ. 3) Офицерскій бытъ и служебно-правовыя отношенія офицеровъ и чиновниковъ 4) Бытъ иностранныхъ армій. 5) Военная беллетристика. 6) Военная исторія. 7) Путевые очерки. 8) Кооперативныя общества. Извѣстія о дѣятельности Варш. офиц. экон. общества. 9) Вопросы экономическіе, потребительнаго дѣла и прикладныхъ знаній. 10) Военная хроника. 11) Библіографія 12) Спортъ. 13) Театръ и искусство. 14) Полезныя совѣты.

Условія подписки:

Подписная цѣна съ доставкой и пересылкой: 1) въ Варшавѣ на годъ (50 №№) 2 р., на полгода — 1 р. 50 к. 2) Иногороднимъ на годъ — 3 р., на полгода — 2 р. 3) Заграницу на годъ — 4 р., на полгода — 3 р. Отдѣльный № — 10 к.

ИЗДАТЕЛЬ
Правл. Варш. Офиц. Эк. Общ.

РЕДАКТОРЪ
Полковн. А. М. Быковъ.

Продолжается подписка на 1907 годъ
на ежемѣсячн. соціально-экономич., научно-обществ. и литер. журналъ

„ГОРОДЪ“,

органъ общественныхъ самоуправленій.

I. Журналъ „ГОРОДЪ“ является полезной и необходимой настольной книгой — энциклопедіей городского самоуправления для городскихъ общественныхъ дѣятелей и для всѣхъ служащихъ въ городскихъ предпріятіяхъ.

II. Журналъ „ГОРОДЪ“ является необходимой и важной справочной книгой для техническихъ конторъ, бюро и всѣхъ промышленныхъ учреждений.

III. Научно-общественный и литературный отдѣлъ дѣлаютъ журналъ „ГОРОДЪ“ цѣнною книгою для всѣхъ лицъ, интересующихся развитіемъ, упорядоченіемъ и улучшеніемъ городской жизни.

Ближайшее участіе въ журналѣ „ГОРОДЪ“ принимаютъ общественные городскіе дѣятели, специалисты по врачебно-санитарнымъ и техническимъ вопросамъ.

Изъявили согласіе участвовать А. Н. Никитинъ (гласн. С-Петерб. думы), Д. П. Никольскій (докторъ медицины) Л. Л. Миценко, Л. Г. Романовъ (инженеръ), В. А. Лѣнивовъ (ученый лѣсоводъ), А. А. Кудрявцевъ, М. П. Покровская (докторъ медицины), Л. К. Чермакъ и др.

Подписная цѣна: на годъ — 8 р.; на 6 мѣс. — 4 р. 50 к.; на 3 мѣс. — 2 р. 50 к.; за гран. — 12 р.; отдѣльная книга въ продажѣ — 1 р. (съ доставкой и пересылкой).

С.-Петербургъ, Невскій 104.
Редакторъ-Издатель Н. Д. Дуниновъ-Борковский.