

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ

въ конторѣ редакціи:  
С.-Петербургъ, Измайловскій полкъ,  
5-я рота, д. № 12, кв. 4.

# З О Д Ч И Я

ЦѢНА ЗА ГОДЪ:

въ С.-Петербургѣ, безъ дост. 12 р.  
съ доставкою въ Сиб. и съ пе-  
ресылк. въ проч. гор. Россіи 14 „  
съ пересылкой за границу 17 „

№№ 11 и 12.

НОЯБРЬ и ДЕКАБРЬ.

1888 г.

Разсчетныя нормы вѣсовъ и нагрузокъ различныхъ конструктивныхъ частей, предложенныя Вѣнскимъ обществомъ инженеровъ и архитекторовъ.

1. Вѣсъ одного куб. метра матеріаловъ въ килограммахъ:

а) Дерево:

1. Дубъ . . . . .	800	килогр.
2. Сосна . . . . .	700	„
3. Ель . . . . .	700	„
4. Пихта . . . . .	650	„
5. Лиственница . . . . .	700	„

б) Металлы:

1. Сварочное желѣзо . . . . .	7.800	„
2. Литое . . . . .	7.850	„
3. Чугунъ . . . . .	7.500	„
4. Свинецъ . . . . .	11.400	„
5. Мѣдь (красная) . . . . .	8.900	„
6. Цинкъ . . . . .	7.200	„

в) Каменная кладка:

	Сухая.	Сырая.
1. Изъ полого кирпича . . . . .	1.200 килогр.	1.400 килогр.
2. „ обыкновеннаго кирпича . . . . .	1.500 „	1.700 „
3. „ желѣзняка (глинкера) . . . . .	1.900 „	2.000 „
4. Бутовая кладка . . . . .	2.400 „	— „
5. Бетонъ . . . . .	2.400 „	— „
6. Тесаный песчаникъ (мягкій или средній) . . . . .	2.400 „	— „
— Тоже твердыхъ породъ . . . . .	2.500 „	— „
7. Известнякъ (мягк. или средн.) . . . . .	2.600 „	— „
— Тоже твердый . . . . .	2.700 „	— „
8. Гранитъ . . . . .	2.800 „	— „

г) Различные матеріалы:

1. Строевой мусоръ . . . . .	1.400	килогр.	—	„
2. Сухой песокъ . . . . .	1.240	— 1.350	„	„
3. Сухая глина . . . . .	1.500	„	—	„
— Сырая глина . . . . .	1.900	„	—	„
4. Известковый или цементный растворъ . . . . .	1.700	„	—	„
5. Чистый асфальтъ . . . . .	1.100	„	—	„
6. Литой асфальтъ, съ гравіемъ . . . . .	1.600	„	—	„
7. Грамбованный асфальтъ . . . . .	1.800	„	—	„
8. Тераццо . . . . .	2.000	„	—	„
9. Гипсъ . . . . .	1.150	„	—	„
10. Оконное стекло . . . . .	2.640	„	—	„

2. Разсчетное сопротивленіе:

№№	МАТЕРІАЛЪ.	Въ килогр. на кв. сантиметръ:		
		вытягиванію.	сжатію.	скалыванію.
1	Желѣзо (сварочное или мягкое литое *)	1.000	1.000	800
2	Чугунъ . . . . .	250	750	250
3	Дубъ . . . . .	100	70	—
4	Сосна . . . . .	90	60	—
5	Ель . . . . .	70	60	—
6	Пихта . . . . .	70	55	—
7	Лиственница . . . . .	70	55	—

3. Разсчетное сопротивленіе камня въ тесовой кладкѣ, монолитахъ, колоннахъ и столбахъ:

№№	ПОРОДА КАМНЯ.	Классъ сооруженія.			ПРИМѢЧАНІЯ.
		А.	В.	С.	
1.	Гранитъ и порфиръ . . . . .	50	40	20	Во всѣхъ случаяхъ, гдѣ степень твердости камня неизвѣстна, слѣдуетъ ее опредѣлять посредствомъ испытаній.
2.	Обыкновенныя твердыя породы . . . . .	25	20	—	
3.	Среднія породы . . . . .	15	10	—	
4.	Мягкія породы **) . . . . .	7,5	—	—	

Подъ классами сооруженій подразумѣваются:

А—замкнутыя толстыя стѣны изъ тесаной кладки, отдѣльныя прокладныя плиты, опоры, своды и т. д., а также столбы и колонны, коихъ толщина не менѣе 1/8 вышины.

В. Сильно нагруженныя камни кладки, а также столбы и колонны съ толщиной въ 1/8 — 1/12 вышины.

С. Столбы и колонны тонѣе 1/12 своей вышины.

4. Разсчетное сжатіе кирпичной и бутовой кладки, въ килогр. на кв. сант.

№№	РОДЪ КЛАДКИ.	Стѣны не тонѣе 45 сант. и колонны не тонѣе 1/4 вышины.	Стѣны тонѣе 45 сант. и колонн. толщиной въ 1/4 — 1/8 вышины.	Колонны съ толщиной въ 1/6 — 1/12 выш.
1	Кирпичная кладка на извести . . . . .	5	2,5	—
2	„ „ „ гидравлической извести . . . . .	7,5	5	—
3	Кирпичная кладка на порландскомъ цементѣ . . . . .	10	7,5	5
4	Смѣшанная или бутовая кладка на извести . . . . .	4	—	—
5	Тоже на гидравлической извести . . . . .	5	—	—
6	Кирпичи лучшаго сорта (изъ отгученной глины) на гидравл. изв. . . . .	9	8	7,5
7	Тоже на порландскомъ цементѣ . . . . .	12	10	8
8	Желѣзнякъ на порл. цементѣ . . . . .	15	12	10
9	Бетонъ изъ гидравлическ. извести . . . . .	7	—	—

5. Разсчетное сжатіе грунта.

№	Родъ грунта.	Килогр. на кв. сант.
1.	Глина и мергель, весьма влажная, а также песокъ, мощностью слоя не менѣе 1 метра, защищенный отъ выпучиванія до . . . . .	1,5

\*) Последнее въ томъ случаѣ, если дыры не пробиваются, а сверлятся.  
\*\*) Пропускаемъ подробное перечисленіе австрійскихъ горныхъ породъ, какъ не имѣющее для насъ интереса.

№	Родъ грунта.	Килогр. на кв. сант.
2.	Песчаный гравій въ слояхъ малой мощности или переменнаго уклона, а также глина и мергель (сухіе) въ стоячихъ слояхъ, предохраненные отъ выпучиванія до . . . . .	2,5
3.	Плотно слежавшійся, крупный гравій въ значительныхъ слояхъ и глина также (мергель) въ лежащихъ слояхъ до . . . . .	3,5
4.	Рыхлый, содержащій воду грунтъ, при употребленіи свай или ростверка до . . . . .	2,0
5.	Тоже при употребленіи кромѣ того бетоннаго слоя не менѣе 60 сант. толщины . . . . .	3,0

При отдѣльныхъ столбахъ слѣдуетъ придавать фундаментамъ квадратную или почти квадратную форму.

**6. Нагрузка половъ, потолковъ, сводовъ и лестницъ.**

**А. Собственный вѣсъ.**

№	Названіе.	Килогр. на кв. метрѣ.
1.	Обыкновенный черный полъ со смазкою въ 8 сант. толщ., съ поломъ, подшивкой и штукатуркой . . . . .	240
2.	Простильной черный полъ со смазкой въ 8 сант. толщины и проч. . . . .	300
3.	Простильной полъ со смазкой (8 сант.), штукатуреннымъ потолкомъ и чистымъ поломъ изъ кирпича плашмя или изъ каменныхъ плитъ . . . . .	350
4.	Грамбоден между желѣзными балками (остальное какъ и при 1), включая вѣсъ желѣзныхъ балокъ . . . . .	270
5.	Сводъ въ 15 сант. толщ. изъ кирпича съ 6 сант. смазкою въ замкѣ, штукатуркой, поломъ и желѣзн. балк.: а) при разстояніи между жел. балками до 1,4 метр. . . . .	500
	б) свыше 1,4 и до 3,0 м. . . . .	570
6.	Сводъ въ 10 сант. толщ. изъ полого кирпича, прочее какъ и при 5): а) разстояніе между жел. балками до 1,2 метр. . . . .	400
	б) отъ 1,2 и до 2,0 метр. . . . .	210
7.	Потолки изъ волнистаго желѣза, вмѣстѣ съ подшивкой, поломъ и смазкою (средней толщ. въ 9 сант.) . . . . .	240

Примѣч. На каждый лишній сант. толщины смазки сверхъ означеннаго прибавлять по 14 килогр.

**Б. Случайныя нагрузки.**

№	Названіе помещенія.	Килогр. на кв. метрѣ.
1.	Обыкновенные чердаки . . . . .	150
2.	Обыкновенныя жилыя помещенія . . . . .	250
3.	Помещенія спеціальнаго характера: бібліотеки, танцевальныя залы и пр. . . . .	350
4.	Лѣстницы и т. п. . . . .	400
5.	Конторы, мастерскія и магазины . . . . .	450
6.	Тоже въ подвальномъ этажѣ . . . . .	550
7.	Склады сѣна, плодовъ и овощей . . . . .	500
8.	Для театровъ, хлѣбныхъ складовъ, архивовъ, концертныхъ залъ, мастерскихъ съ особенно тяжелыми машинами, и пр. нагрузка опредѣляется особо.	

Балки, уложенныя обыкновеннымъ способомъ, при расчетѣ разсматриваются, какъ свободно лежація. При балкахъ, задѣланныхъ однимъ концомъ и свободно висящихъ другимъ, какъ напр. въ балконахъ, слѣдуетъ удостовѣряться: а) достаточенъ ли вѣсъ кладки надъ задѣланою частью балки и б) достигается ли употребленіемъ каменныхъ или чугунныхъ подкладныхъ плитъ правильная передача давленія.

**7. Нагрузка кровель.**

№	Родъ кровли.	Подъемъ кровли.	Килогр. на кв. метрѣ.		
			Собств. вѣсъ.	Давленіе снѣга и вѣтра.	Всего.
1	Простая черепичная кровля . . . . .	1 : 1,25	135	125	260
2	Двойная > > . . . . .	1 : 1,25	165	125	290
3	Простая асфидная кровля . . . . .	1 : 2,25	75	95	170
4	Двойная асфидная > > . . . . .	1 : 2,25	115	95	210
5	Цинковая или желѣзная кровля на обрѣшеткѣ . . . . .	1 : 4	40	75	115
6	Толевая кровля . . . . .	1 : 4	40	75	115
7	Древесно-цементная кровля съ 10 сант. подсыпкой гравія, не считая стропиль . . . . .	1 : 1,8	165	75	240
8	Листовое или волнистое желѣзо на желѣзной обрѣшеткѣ . . . . .	1 : 5	20	75	95

Въ собственный вѣсъ включенъ вѣсъ стропильныхъ ногъ, но безъ вѣса подкосовъ, бабокъ и затяжекъ. Послѣдній можетъ быть принятъ, смотря по матеріалу кровли, въ предѣлахъ до 16 метр. пролета:

- а) желѣзныхъ стропильныхъ частей — отъ 10 до 20 килогр. на 1 кв. метрѣ плана и
- и б) деревянныхъ частей — отъ 20 до 30 килогр. на 1 кв. метрѣ плана

При кровляхъ съ инымъ подъемомъ достаточно измѣнить показанныя цифры пропорціонально измѣненію длины стропильныхъ ногъ.

**8. Различныя нагрузки.**

№	Названіе.	Килогр. на кв. метрѣ.
1.	Давленіе снѣга на горизонтальную плоскость . . . . .	175
2.	Обыкновенное давленіе вѣтра на поверхность, перпендикулярную къ его направленію . . . . .	120
3.	Тоже при постройкахъ, особенно доступныхъ вѣтру . . . . .	150

Направленіе вѣтра слѣдуетъ принимать подъ уклономъ въ 10° къ горизонту.

Если за наибольшую нагрузку принимается единовременное давленіе снѣга и вѣтра, то давленіе снѣга слѣдуетъ уменьшить отъ 1/3 до 1/2 противъ показаннаго, сообразно уклону кровли, но во всякомъ случаѣ принимать его не менѣе 75 килогр. на кв. метрѣ.

При расчетѣ устойчивости особенно подверженныхъ дѣйствию вѣтра предметовъ, напр. заводскихъ трубъ, слѣдуетъ разсчитывать такимъ образомъ, чтобы не только вся труба, но и каждая ея часть, лежащая выше произвольно взятаго сѣченія, обладала по меньшей мѣрѣ двойнымъ запасомъ устойчивости и чтобы сжатіе кирпича при этомъ не превосходило указанныхъ выше предѣловъ.

**Разсчетъ сводовъ**

(по Ландсбергу).

Предлагаемая статья, составляющая извлеченіе изъ соч. извѣстнаго вѣнскаго инженера Ландсберга, представляетъ собою значительный интересъ по своей практической примѣнимости, отсутствіемъ которой болѣе или менѣе страдаетъ большинство современныхъ теоретическихъ изслѣдованій по данному вопросу. Изслѣдованія эти по большей части направлены къ достиженію возможно болѣе (теоретической) точности въ результатахъ, которые при этомъ, естественно, являются въ видѣ весьма сложныхъ, неудобопонятныхъ и поэтому совершенно непригодныхъ для практики формулъ.

Да и самая точность этихъ результатовъ нерѣдко оказывается сомнительною, не выкупающею связанныхъ съ нею неудобствъ, такъ какъ дѣло не обходится безъ нѣкоторыхъ упрощеній или пред-

положений, могущих совершенно изменить степень точности выводовъ.

Пріемъ Ландсберга въ этомъ случаѣ, какъ мы уже сказали, интересенъ во-первыхъ по характеру дѣлаемыхъ имъ заранѣе допущеній, а во вторыхъ по нѣкоторымъ особенностямъ, чрезвычайно упрощающимъ конечные выводы, безъ особаго ущерба ихъ точности.

Для опредѣленія внутреннихъ силъ, дѣйствующихъ въ сводѣ, необходимо прежде всего опредѣлить наружныя усилія дѣйствующія на сводъ, а именно нагрузки и сопротивленія опоръ. Въ большинствѣ случаевъ нагрузки даются заранѣе или же находятся по таблицамъ. Опредѣленіе сопротивленій опоръ сложнѣе.

Разсматривая сводъ произвольной кривизны (фиг. 1) \*), мы видимъ, что каждая опора или пята передаетъ своду нѣкоторое количество усилій, равнодѣйствующая которыхъ и будетъ искомое сопротивление. Намъ пока не извѣстны ни его величина, ни направление. Слѣдовательно, здѣсь шесть неизвѣстныхъ:  $D, D_1, \alpha, \alpha_1, C$  и  $C_1$  (если означить черезъ  $C$  и  $C_1$  отстоянія точекъ  $A$  и  $B$  отъ срединъ опорныхъ плоскостей). Такъ какъ законы статики намъ даютъ только три уравненія равновѣсія, то очевидно, что рѣшеніе вопроса чисто статическимъ путемъ невозможно.

Возможность рѣшенія задачи является, если мы будемъ разсматривать сводъ какъ упругую арку, причемъ предположимъ, что при всякихъ деформацияхъ, могущихъ произойти отъ дѣйствія нагрузки, какъ опоры, такъ и ближайшія къ нимъ части арки останутся неизмѣнными. Такое предположеніе, весьма близкое къ дѣйствительности и даетъ намъ недостающіе три уравненія.

Далѣе, мы увидимъ, что въ самомъ простомъ и наиболѣе часто встрѣчающемся расчетномъ случаѣ, а именно, при существованіи одной лишь неподвижной нагрузки, въ послѣднихъ уравненіяхъ не является необходимости. Предположимъ, что сопротивленія опоръ нами уже опредѣлены какимъ-либо образомъ по величинѣ, направлению и положенію.

Въ такомъ случаѣ всѣ внѣшнія силы, дѣйствующія на сводъ, извѣстны и поэтому всѣ внѣшнія силы для какого-либо произвольнаго, взятаго нормально въ плоскости чертежа сѣченія II (фиг. 2) могутъ быть соединены по одну изъ его сторонъ въ одну равнодѣйствующую.

Разсматривая часть свода между лѣвою опорой и сѣченіемъ II, назовемъ такую равнодѣйствующую  $R$ . Для равновѣсія въ сѣченіи II должны дѣйствовать нѣкоторыя внутреннія силы, которыхъ равнодѣйствующая была бы равна и прямо противоположна силѣ  $R$ , имѣя общую съ нею точку приложенія; другими словами, найдя  $R$ , мы знаемъ и равнодѣйствующую въ данномъ сѣченіи внутреннихъ силъ. Разлагаемъ силу  $R$  на двѣ, а именно—на составляющую  $P$ , параллельную къ касательной къ средней линіи свода въ данномъ сѣченіи и на нормальную къ ней силу  $Q$ . Послѣдняя въ данномъ случаѣ не существенно важна; наоборотъ, чрезвычайно важно опредѣлить положеніе и величину силы  $P$ . Сжимающія и вытягивающія усилія, вызываемыя послѣднею въ волокнахъ сѣченія могутъ быть здѣсь опредѣлены безъ особой погрѣшности, какъ для прямого бруса.

Поступая по общимъ правиламъ строительной механики, найдемъ, что усиліе  $N$  въ какомъ либо волокнѣ сѣченія, отстоящемъ на величину  $Z$  отъ его срединъ, будетъ

$$N = \frac{P}{F} + \frac{Mz}{J} = \frac{P}{F} \left( 1 + \frac{P \xi z}{J} \right); \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ  $M$ —моментъ внѣшнихъ силъ относительно точки  $O$ , т. е. точки пресѣченія средней кривой свода съ сѣченіемъ II; слѣдовательно здѣсь  $M = P\xi$ , такъ какъ  $Q$  не имѣетъ момента относительно  $O$ .

Положительныя значенія  $N$  соответствуютъ сжатію, отрицательныя—вытягиванію.

Особенно важна для опредѣленія  $N$  величина  $\xi$  или, что все равно, положеніе точки  $E$  пересѣченія равнодѣйствующей  $R$  съ даннымъ сѣченіемъ.

Кривая, соединяющая подобныя точки различныхъ сѣченій, называется кривою давленія въ опорахъ. Различнымъ видамъ нагру-

\*) Здѣсь, какъ и во всѣхъ послѣдующихъ разсужденіяхъ, предполагается, что длина свода, т. е. его измѣненіе, перпендикулярное къ плоскости чертежа, равно единичѣ линейной мѣры, напр. 1-му метру.

зокъ одного и того же свода соответствуютъ различнымъ равнодѣйствующимъ въ каждомъ сѣченіи, а слѣдовательно и различнымъ кривымъ давленія въ опорахъ.

Раздѣляя сводъ на нѣсколько частей (фиг. 3), найдя сопротивленія опоръ ( $D$  и  $D_1$ ) и нагрузки отдѣльныхъ частей ( $g_1, g_2, g_3 \dots g_n$ ) мы можемъ сложить сперва силы  $D$  и  $g_1$  въ одну равнодѣйствующую, сложить эту послѣднюю съ  $g_2$  и т. д. до противоположащей опоры, причемъ получится ломаная линія, называемая многоугольникомъ равнод. силъ. (O I II III IV VI f). Изъ послѣдняго получается кривая давленія, если соединять между собою точки пересѣченія отдѣльныхъ равнодѣйствующихъ съ соотв. сѣченіями (1 2 3 4 5 6 7). Чѣмъ на большее число частей раздѣленъ сводъ, тѣмъ болѣе полученный многоугольникъ приближается къ плавной кривой, т. наз. веревочной кривой, которая въ данномъ случаѣ тождественна съ опорной кривой.

Форма многоугольника, также какъ и веревочной кривой независима отъ точекъ приложенія сопротивленій  $D$  и  $D_1$  опоръ, такъ какъ перемѣстивъ силы  $D$ , не измѣняя ихъ величины и направленія вверхъ или внизъ, мы перемѣстимъ на ту же величину самый многоугольникъ, который такимъ образомъ останется тождественъ, съ первоначальнымъ. Поэтому если, какъ это часто приходится, надо опредѣлить только форму веревочной кривой, но не ея направленіе, то остаются лишь 4 неизвѣстныхъ:  $D, D_1, \alpha$  и  $\alpha_1$  и задавшись одною изъ нихъ можно рѣшить вопросъ статическимъ путемъ.

На основаніи теоріи упругости сводовъ Винклеру удалось доказать \*) слѣдующее, весьма важное, положеніе: при постоянномъ сѣченіи изъ всѣхъ статически возможныхъ кривыхъ давленія наиболѣе вѣрною будетъ та, у которой сумма квадратовъ разстояній (или уклоненій) отъ средней кривой свода будетъ наименьшею.

Поэтому самая правильная кривая давленія должна совпадать съ среднею кривою свода.

Поэтому при проектированіи свода слѣдуетъ начертить сначала его среднюю кривую такимъ образомъ, чтобы она по возможности совпадала съ кривою давленія, опредѣленнаго при извѣстныхъ предположеніяхъ, т. е. при извѣстныхъ, данныхъ нагрузкахъ. Такъ какъ въ гражданской архитектурѣ своды по большей части исключительно подвергаются постояннымъ, неподвижнымъ нагрузкамъ, то слѣдовательно найденная кривая и вообще будетъ отвѣчать требованіямъ.

Далѣе мы увидимъ, что въ тѣхъ случаяхъ, когда точное опредѣленіе кривой давленія почему либо затруднительно, можно ограничиться извѣстными предѣлами ея положенія; а такъ какъ кривая давленія легко можетъ быть получена посредствомъ многоугольника равнодѣйствующихъ, то и слѣдуетъ начинать съ построенія послѣдняго.

а) Веревочная кривая и многоугольникъ равнодѣйствующихъ.

Изъ даннаго нами понятія о веревочной кривой слѣдуетъ, что касательная къ ней во всякой ея точкѣ должна имѣть общее направленіе съ равнодѣйствующей въ этой точкѣ.

Чтобы составить уравненіе веревочной кривой, разсмотримъ часть дуги свода, длиною  $= ds$  (фиг. 4). Предположимъ, что нагрузки вертикальны и составляютъ на единицу горизонтальной поверхности  $q$  килогр., причемъ  $q$  вообще переменна. Тогда на часть  $m$  о дуги, длина которой  $ds$ , дѣйствуютъ три силы: грузъ  $qdx$  и обѣ касательныя силы  $P$  и  $P + dP$ .

Подъ вліяніемъ этихъ трехъ силъ дуга находится въ равновѣсіи, такъ что мы можемъ написать

$$0 = P \cos \bar{i} - (P + dP) \cos (\bar{i} + d\bar{i}).$$

Производя умноженіе и пренебрегая безконечно-малыми втораго порядка, найдемъ, что

$$0 = dP \cos \bar{i} - P \sin \bar{i} d\bar{i} = d(P \cos \bar{i}), \text{ т. е.}$$

что  $P \cos \bar{i}$  есть величина постоянная.  $A$  вмѣстѣ съ тѣмъ  $P \cos \bar{i}$  есть горизонтальная составляющая напряженія дуги; обозначимъ ее черезъ  $H$ :

$$P \cos \bar{i} = H. \dots \dots \dots (2)$$

Этимъ выражается слѣдующій законъ: при вертикальныхъ нагрузкахъ горизонтальная составляющая напряженій въ аркѣ (дугѣ) свода есть величина постоянная.  $H$  называется горизонтальнымъ распоромъ.

\*) Доказательство это можно найти въ: Winkler, Beitrag zur Theorie der Bogenträger (Zeitschr. d. Arch. u. Ing. Ver. zu Hannover, 1879, стр. 199) и его же: Lage der Stützlinie im Gewölbe, (Deutsche Bauzeitung 1879, стр. 117 и 127).

Второе условие равновесія даетъ намъ

$$0 = q dx + P \sin i - (P + d P) \sin (i + d i)$$

и постулая по предыдущему, найдемъ:

$$0 = q dx - d (P \sin i) \text{ или } d (P \sin i) = q dx$$

Но по ур. (2)  $P = \frac{H}{\cos i}$ , слѣд.

$$d (H \operatorname{tg} i) = q dx = d \left( H \frac{dy}{dx} \right) = H \frac{d^2 y}{dx^2}$$

$$\text{Отсюда } q = H \frac{d^2 y}{dx^2} \text{ и } \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{q}{H} \quad (3)$$

Если данъ видъ функции  $q$ , то можно двойнымъ интегрирова-  
ниемъ опредѣлить уравненіе веревочной кривой.

Во многихъ случаяхъ удобнѣе выразить это отношеніе въ иной  
формѣ. Обозначивъ радиусъ кривизны веревочной кривой черезъ  $\rho$ ,  
имѣемъ (фиг. 4)  $ds = \rho d i$ ; далѣе,

$$\frac{q}{H} = d \frac{dy}{dx} = d \operatorname{tg} i = \frac{d i}{\cos^2 i}, \text{ т. е.}$$

$$\frac{q}{H} dx = \frac{d i}{\cos^2 i} \text{ и } \cos^2 i = \frac{dx}{ds}, \text{ откуда}$$

$$dx = ds \cos^2 i = \rho d i \cos^2 i = \frac{\rho d i}{\cos^2 i} \text{ и } \rho = \frac{H}{q \cos^2 i} \quad (4)$$

Посредствомъ ур. (4) можно такимъ образомъ опредѣлить ради-  
усы кривизны, соответствующіе различнымъ значеніямъ  $i$  при дан-  
ныхъ  $q$  и  $H$ .

Пусть въ замкѣ  $q = q_0$ ,  $\rho = \rho_0$ ; тогда, такъ какъ  $i_0 = 0$ ,  
имѣемъ

$$\rho_0 = \frac{H}{q_0}, \text{ или } H = q_0 \rho_0 \quad (5)$$

Слѣдовательно, горизонтальный распоръ равенъ произведенію  
изъ нагрузки единицы длины горизонтальной проекціи на радиусъ  
кривизны веревочной кривой въ замкѣ.

Подставляя значеніе  $H$  изъ ур. (5) въ ур. (4), имѣемъ

$$\rho = \frac{q_0 \rho_0}{q \cos^2 i} \text{ и } \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{q_0}{q \cos^2 i} \quad (6)$$

Обыкновенно нагрузку свода изображаютъ въ видѣ вертикаль-  
ныхъ полосъ равнаго относительнаго вѣса, такъ что высота по-  
лосъ пропорціональна вѣсу выражаемыхъ ими нагрузокъ. Такимъ  
образомъ получается площадь, ограниченная снизу веревочной  
кривой, а сверху — кривою, соединяющею высоты изображенныхъ  
графически нагрузокъ. Площадь эта, заштрихованная на фиг. 5,  
называется площадью нагрузокъ, а верхняя кривая, ее ограничи-  
вающая — кривою нагрузокъ.

Дифференціальное уравненіе веревочной кривой  $\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{q}{H}$

при данной нагрузкѣ, слѣдовательно при данной функции  $q$ , даетъ  
простымъ интегрированіемъ:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{H} \int q dx + C, \text{ а интегрируя вторично:}$$

$$y = \frac{1}{H} \int dx \int q dx + Cx + C_1$$

Въ послѣднемъ уравненіи три постоянныхъ величины  $H$ ,  $C$  и  $C_1$ ,  
выборъ которыхъ опредѣляетъ характеръ и положеніе веревочной  
кривой.

Если нѣтъ надобности опредѣлять положеніе кривой, а можно  
ограничиться опредѣленіемъ лишь ея формы, то можно двѣ постоян-  
ныхъ взять произвольно, такъ какъ онѣ относятся исключительно  
къ положенію веревочной кривой. Напр., можно принять  $C = C_1 = 0$

и тогда уравненіе кривой приметъ видъ  $y = \frac{1}{H} \int dx \int q dx$ .

Въ большинствѣ случаевъ требуется опредѣлить именно форму  
кривой; поэтому мы можемъ задаться для нея заранѣе двумя точ-  
ками, а именно опорами, лежащими на одной высотѣ; такимъ обра-  
зомъ двѣ постоянныхъ будутъ даны. При нагрузкѣ, симметричной  
относительно вертикальной оси, кривая также будетъ симметрична  
относительно этой оси, которую мы и примемъ за ось  $y$ .

Здѣсь являются двѣ важныхъ задачи: во-первыхъ, по данной  
кривой нагрузокъ опредѣлить соответствующую ей веревочную кри-  
вую, во вторыхъ, по данной кривой свода опредѣлить соответствую-  
щую ей кривую нагрузокъ. Относительно первой изъ указываемыхъ  
задачъ замѣтимъ слѣдующее:

Въ большинствѣ случаевъ гражданской архитектуры кривая на-  
грузокъ имѣетъ видъ или горизонтальной прямой, или же двухъ  
наклонныхъ прямыхъ, сходящихся въ замкѣ подъ угломъ. Но такъ  
какъ рѣшеніе этой задачи требуетъ довольно утомительныхъ вы-  
численій и къ тому же самая задача рѣдко является именно въ  
такомъ видѣ, то мы ограничимся приводимыхъ далѣе графическимъ  
способомъ, отсылая интересующихся къ болѣе подробнымъ источни-  
камъ \*).

Перейдемъ теперь къ рѣшенію второй изъ намѣченныхъ нами  
задачъ, въ примѣненіе къ наиболѣе часто встрѣчаемому на прак-  
тикѣ случаю — къ своду, образованному по дугѣ круга.

Радиусъ кривизны круга есть величина постоянная, т. е.

$$\rho = \rho_0 = r \text{ и слѣдовательно уравненіе (5) веревочной кривой}$$

приметъ видъ  $q = \frac{q_0}{\cos^2 i}$ .

Чтобы въ уравненіе входили лишь геометрическія величины,  
обозначимъ высоты площади нагрузокъ въ замкѣ и въ какой либо  
точкѣ, соответствующей углу  $i$ , соотв. черезъ  $z$  и  $z_0$  (фиг. 6); если  
 $\gamma$  есть относительный вѣсъ матеріала нагрузки то  $q_0 = \gamma z_0$ ,  $q = \gamma z$ ,

$$\gamma z = \frac{\gamma z_0}{\cos^2 i} \text{ и } z = \frac{z_0}{\cos^2 i} \quad (7)$$

Ур. (7) есть уравненіе кривой нагрузокъ при сводѣ, средняя  
линія котораго есть кругъ. При  $i = 0$ ,  $z = z_0$ , соответствен-  
но

предположенію; при  $i = 90^\circ$ ,  $z = \frac{z_0}{0} = \infty$ ; поэтому веревочной

кривой въ видѣ полукруга соответствуетъ бесконечно большая ве-  
личина нагрузки надъ опорами или, другими словами, веревочная  
кривая не можетъ имѣть форму полукруга.

Ур. (7) весьма удобно для опредѣленія кривой нагрузокъ для  
дуги круга. Чтобы получить высоту  $z$  нагрузки, соответствующую  
точкѣ  $a$ , наносимъ данную высоту нагрузки въ замкѣ ( $z_0$ ) на про-  
долженіи радиуса  $ab$ , проводимъ черезъ  $a$  вертикальную прямую, а  
черезъ  $b$  — перпендикуляръ къ радиусу, который пересѣчетъ верти-  
кальную прямую въ  $c$ ; проводимъ черезъ  $c$  горизонтальную  $cd$  и  
черезъ  $d$  перпендикуляръ  $de$  къ радиусу; тогда  $ae = z$ , такъ какъ

$$\frac{ac}{ae} = \frac{ab}{ad}, \text{ а } \frac{ad}{ae} = \frac{ab}{ae} \text{ и } \frac{ac}{ae} = \frac{ab}{ae} = \frac{z_0}{\cos^2 i}$$

Изъ этого видно, что форма кривой нагрузокъ зависитъ отъ  
данной величины  $z_0$  и отъ радиуса. Отношеніе  $\frac{r}{z_0}$  называется мо-  
дулемъ. При небольшой высотѣ нагрузки въ замкѣ, напр. при  
 $\frac{r}{z_0} = 10$ , кривая нагрузокъ до угла въ  $30^\circ$  приблизительно кон-  
центрична съ дугой круга; при большихъ высотахъ нагрузокъ,  
напр. при  $\frac{r}{z_0} = 3$ , она по срединѣ (въ предѣлахъ угла въ  $30^\circ$ )  
почти горизонтальна. Слѣдовательно, при нагрузкѣ, ограниченной  
сверху прямою, причемъ  $\frac{r}{z_0}$  близко къ 3, можно принять плоскую  
арочку за веревочную кривую.

Веревочная кривая, какъ и многоугольникъ равнодѣйствующихъ,  
совершенно опредѣлена, если для нея даны три элемента; въ та-  
комъ случаѣ, слѣдовательно, возможно ея графическое построеніе.  
Этими тремя элементами служатъ обыкновенно три точки, черезъ  
которыя кривая должна проходить; вмѣсто нихъ, впрочемъ, можно  
задаться величиной, направлениемъ и точкой приложенія сопротив-  
ленія одной изъ опоръ или одной изъ среднихъ силъ. Какъ мы  
увидимъ далѣе, всего целесообразнѣе задаваться тремя точками:  
двумя — на опорахъ и одною — гдѣ либо на пути кривой. Покажемъ  
здѣсь построеніе многоугольника равнодѣйствующихъ по тремъ  
точкамъ; изъ него уже легко получить веревочную кривую.

Пусть данъ сводъ, симметричный относительно вертикальной  
оси, нагруженный также симметрично относительно этой оси (фиг. 7).  
При этихъ условіяхъ, сообразно предыдущему, веревочная кривая  
будетъ также симметрична относительно этой оси и, слѣдовательно,  
часть ея въ замкѣ, при плавной формѣ кривой будетъ горизон-

\*) Schwedler. Theorie der Stützlinie. Zeitschr. für Bauw. 1859, стр. 109.  
Ritter. Lehrbuch der Ingenieur-Mechanik. Hannover. 1876, стр. 335.

гальна. По этой же причине достаточно ограничиться построением одной половины кривой. Для нее мы имеем три данных—две точки  $C$  и  $A$ , которыми мы задались заранее и горизонтальное направление кривой в замке. Пусть поверхность нагрузок будет  $abm$  и многоугольник равнодействующих, по сказанному, должен проходить через точки  $A$  и  $C$ , имея при этом в  $C$  горизонтальное направление. Построение производится следующим образом: Разделяем поверхность нагрузок на произвольное число вертикальных отрезков; весь каждого отрезка  $g_1, g_2, \dots$  выразится в виде произведения площади этого отрезка на единицу измерения, нормального к плоскости чертежа и на относительный весь нагрузки (в частном случае удельный весь).

Точки приложения найденных всех будут в центрах тяжести  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$  отрезков. Все  $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$  наносим на многоугольник сил  $\alpha_1 \gamma_1, \dots, \gamma_n$  и горизонтальную силу  $H$ , действующую в  $C$ . Сначала принимаем равною произвольной величиной  $O\alpha$ . Слагая ее с  $g_1$ , получим равнодействующую  $O\beta$ , проходящую через точку пересечения  $V_1$  сил  $H$  и  $g_1$ . Дальнейшее сложение этой и последующих равнодействующих с  $g_2, g_3, \dots, g_n$ , дает многоугольник  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ , означенный на фиг. 7 пунктиром (точка с чертой). Многоугольник этот не проходит через точку  $A$ , согласно заданию, следовательно, он не есть истинный. Чтобы получить таковой, воспользуемся тем, что многоугольник сил есть веревочный многоугольник и поступаем обыкновенным порядком; построение легко понятно из чертежа. Так как равнодействующая в  $C$  горизонтальна, то оба полюса, как первоначального, так и истинного многоугольника сил будут лежать на горизонтальной прямой  $Ox$ , следовательно линия, соединяющая полюсы, горизонтальна; оба многоугольника проходят через точку  $C$ , в которой, следовательно и пересекаются обе первые стороны веревочных многоугольников. Поэтому и все соответствующие стороны многоугольников будут пересекаться на горизонтальной, проходящей через точку  $C$  линии  $CL$ . Следующая за  $g_1$  сторона истинного многоугольника равнодействующих должна по предположению проходить через  $A$  и кроме того через точку  $s$  пересечения линии  $CL$  с следующей за  $g_1$  стороной первоначального многоугольника. Таким образом  $AC$  будет сторона истинного многоугольника. Сторона веревочного многоугольника между  $g_1$  и  $g_2$  проходит через  $I$  и, по предыдущему, через  $d$ , следовательно она будет  $III d$ . Таким образом определяются и остальные стороны истинного многоугольника. Соответствующее значение  $H$  найдется, проведя через  $\eta$  прямую параллельно к  $Ac$  и определяя ее пересечение  $O$  с горизонтальной прямой проходящей через  $\alpha$ . Тогда  $Ox = H$ ; кроме того  $O$  есть полюс многоугольника равнодействующих. Величины отдельных равнодействующих выражаются соответствующими лучами  $Ox, O\beta, O\gamma, \dots$ . При произвольной форме свода и при произвольной нагрузке (рис. 8) не достаточно построить одну половину кривой, но следует разсматривать всю арку. Определение многоугольника равнодействующих по трем заранее выбранным точкам, производится следующим образом:

Пусть нагрузки будут  $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ ; сначала строим многоугольник сил  $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta$  и произвольно избрав полюс  $O_1$  строим веревочный многоугольник, проходящий через одну из данных точек, напр. через  $A$  ( $A_{123456}$ ). Так как он не пройдет через другую точку  $C$ , и, следовательно, не есть истинный, то берем новый полюс  $O_2$ , проводим через  $A$  линию параллельную к  $O_1O_2$  и строим новый веревочный многоугольник, как сказано выше. Для упрощения берем полюс  $O_2$  на одной вертикальной линии с  $O_1$ ; тогда общее место пересечения соответственных сторон построенного и искомого веревочных многоугольников будет проходящая через  $A$  вертикальная  $AV$ .

Таким образом получаем новый многоугольник, начиная со стороны  $C$ , показанный пунктиром  $A'1'2'3'4'5'6'$ , проходящий через  $A$  и  $C$ . Точки пересечения соотв. сторон обоих многоугольников лежат на линии которая параллельна прямой, соединяющей истинный полюс с  $O_1$ . Линия эта во всяком случае проходит через  $A$ , так как в точке  $A$  пересекаются две соответствующих стороны многоугольников и на том же основании проходит и через  $C$ , следовательно она будет прямая  $AC$ . Поэтому проводим  $AC$ , находим точку  $e$  ее пересечения с стороной пунктирного многоугольника, следующей за  $g_1$ , соединяем  $e$  с  $B$ ; тогда  $eB$  будет последняя сторона истинного многоугольника. Дальнейшее построение совершенно аналогично с описанным для симметричного свода с симметрично расположенной нагрузкой и дает окончательно истинный многоугольник  $AIIIIVVV$ . Теперь уже не трудно найти истинный полюс  $O$ . Проводим че-

резь  $O_1$ , прямую параллельно к  $AC$  и через  $\zeta$  параллельную к  $Be$ ; точка пересечения этих прямых и будет полюс  $O$ .

Можно поступить и иначе—найти этот полюс сейчас по определению  $Be$  и затем уже строить многоугольник равнодействующих обыкновенным путем, проводя первую сторону через  $A$ .

При практическом применении описанного способа надо еще иметь в виду следующее: нагрузка изображается площадью, относительный весь которой во всех ее точках совершенно одинаков. Данные же нагрузки могут не иметь одинакового удельного веса и должны быть сначала приведены к таковому; всего удобнее для этого выбрать уд. весь материала свода. Тогда нагрузки изобразятся в виде кладки из этого материала.

### Цилиндрические и сомкнутые своды.

Разрушение свода может произойти:

- 1) Вращением какой либо его части вокруг внутреннего или наружного ребра;
- 2) скольжением части свода по шву, отделяющему ее от смежной части и
- 3) раздроблением материала свода в наиболее напряженной части.

Если известно положение кривой давления, то легко решить все вопросы, касающиеся устойчивости данного свода. Но точное определение этого положения, возможное лишь при помощи теории упругости, сопровождается весьма сложными вычислениями. Поэтому ознакомимся здесь только с условиями устойчивости сводов и найдем те предельные между которыми должна лежать кривая давления.

Если свод (фиг. 9) должен быть устойчив, то кривая давления должна на всем своем протяжении лежать в кладке свода.

Если равнодействующая  $R$  всех сил, действующих по одну сторону какого либо сечения  $NO$ , перескачет продолжение этого сечения, положим, в точке  $b$ , то сила  $R$  имеет относительно  $O$  момент  $M = Re$ , стремящийся вращать часть свода, лежащую выше  $NO$ , кругом ребра  $O$ . Вращение это может быть уничтожено лишь другою, противоположною силою  $W$  (показанною на фиг. 9 пунктиром), момент которой относительно  $O$  был бы равен предыдущему и этою силою может быть только сопротивление волокон материала свода разрыву. Но такой силы не существует, так как материал свода (пренебрегая сцеплением раствора) сопротивлением разрыву не обладает. Следовательно, в данном случае часть, лежащая выше  $ON$  должна вращаться около  $O$  и обрушиться. Поэтому действие силы  $R$  может быть уничтожено лишь тогда, когда она не выходит из предельных сечения  $ON$ , вызывая таким образом в волокнах последнего одно лишь сжатие; другими словами, пересечение кривой давления с произвольным сечением  $ON$ , должно находиться в пределах последнего, т. е. кривая давления не должна выходить из свода.

Здесь можно с достаточной для практики точностью воспользоваться уравнениями, определяющими напряжения в прямых балках, подверженных действию продольных сил и поэтому напряжение волокон какого либо сечения, отстоящих на величину  $x$  от его центра тяжести, будет

$$N = \frac{P}{F} \left( 1 + \frac{F\xi x}{J} \right)$$

В данном случае сечение имеет вид прямоугольника, ширина которого  $= d$ , а ширина (нормальная к плоскости чертежа)

$$= 1; \text{ следовательно } F = d \cdot 1, J = \frac{d^3}{12} \text{ и}$$

$$N = \frac{P}{d} \left( 1 + \frac{12\xi x}{d^2} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Так как  $P$  должно соответствовать сжатию и есть величина положительная, то и положительные значения  $N$  означают сжатие, а отрицательные—вытягивание. При положении силы  $N$ , показанном на фиг. 10, наибольшее сжатие  $N_{\text{max}}$  будет в волокнах  $U$ , для которых  $x$  имеет наибольшее свое значение  $x = \frac{d}{2}$ ; наи-

меньшее сжатие  $N_{\min}$  будетъ въ волокнахъ  $V$ , гдѣ значеніе  $z$  наименьшее  $z = -\frac{d}{2}$ . Поэтому

$$\left. \begin{aligned} N_{\max} &= \frac{P}{d} \left( 1 + \frac{12 \xi d}{2 d^2} \right) = \frac{P}{d} \left( 1 + \frac{6}{d} \right) \dots \dots \dots \\ N_{\min} &= \frac{P}{d} \left( 1 - \frac{6}{d} \right) \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (9)$$

$$N_{\min} = 0, \text{ когда } 1 - \frac{6}{d} = 0, \text{ т. е. когда } d = \frac{6}{1}$$

Слѣдовательно, въ наименѣе сжатомъ волокнѣ  $V$  напряженіе будетъ равно нулю, если равнодѣйствующая пересѣкаетъ сѣченіе на высотѣ  $\frac{d}{6}$  надъ его центромъ тяжести. Если сила  $P$  или, что все равно, кривая давленія пересѣкаетъ сѣченіе ниже  $O$ , то, какъ видно изъ уравн. (8), замѣнивъ  $+$  черезъ  $-$ , наибольшее сжатіе будетъ въ  $V$ , а наибольшее вытягиваніе—въ  $U$ . Поэтому напряжение въ  $U$  будетъ  $= 0$ , если кривая давленія пересѣкаетъ сѣченіе на разстояніи  $\frac{d}{6}$  ниже центра тяжести.

$N_{\max}$  и  $N_{\min}$  являются съ одинаковыми знаками при тѣхъ значеніяхъ  $\xi$ , при которыхъ одновременно

$$1 + \frac{6}{d} > 0 \text{ и } 1 - \frac{6}{d} > 0, \text{ т. е.}$$

$$\text{при } d > -\frac{6}{6} \text{ и } d < +\frac{6}{6}$$

Слѣдовательно до тѣхъ поръ, пока кривая давленія пересѣкаетъ сѣченіе на пространствѣ ихъ внутренней трети,  $N_{\max}$  и  $N_{\min}$  будутъ съ однимъ и тѣмъ же знакомъ, т. е. во всемъ сѣченіи будетъ существовать одно лишь сжатіе.

Напротивъ, при  $d > \frac{6}{6}$  появляется вытягиваніе и тогда уже

ур. (1) не примѣнимо, такъ какъ оно выведено въ томъ предположеніи, что все сѣченіе подвергается напряженію; здѣсь же нѣкоторыя части его подвергаются вытягиванію, которому они, по предположенію, сопротивленія оказать не могутъ.

Примѣняя здѣсь уравненія, выведенныя для прямолинейныхъ брусевъ, мы найдемъ, что если, напр. кривая давленія пересѣкаетъ сѣченіе внѣ его внутренней трети, на какомъ либо разстояніи отъ ближайшихъ крайнихъ волоконъ, до давленія  $P$  будетъ распространяться лишь на ширину  $3c$ , и наибольшее давленіе будетъ вдвое болѣе, чѣмъ при равномерномъ его распредѣленіи.

Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ  $N_{\max} = \frac{2P}{3c}$

Обозначивъ наибольшее допускаемое сопротивленіе единицы площади матеріала свода сжатію черезъ  $k$  (въ килогр.), можемъ опредѣлить предѣлъ приближенія кривой давленія къ внутренней или

наружной поверхности свода, а именно:  $k = \frac{2P}{3c}$ , откуда  $c = \frac{2P}{3k}$  . . . . . (10)

Такимъ образомъ, для обезпеченія матеріала свода отъ раздавливанія мы имѣемъ слѣдующее условіе: кривая давленія не должна подходить къ внутренней или наружной поверхности свода ближе, чѣмъ на величину  $\frac{2P}{3k}$  и наибольшее сжатіе не должно при этомъ превышать  $k$ .

Такъ какъ величина  $P$  различна для различныхъ точекъ свода, то и значенія  $c$ , соответствующія этимъ точкамъ, будутъ различны. Обыкновенно можно ограничиться опредѣленіемъ наибольшей величины  $P$  при опорахъ и найденную при этомъ величину  $c$  принять постоянною для всего свода. Такимъ образомъ легко вычертить двѣ кривыхъ, въ предѣлахъ между которыми должна находиться кривая давленія.

Чтобы любая точка каждаго сѣченія подвергалась исключительно сжатію, необходимо, чтобы равнодѣйствующая, соответствующая этому сѣченію, пересѣкала его во внутренней его трети, другими словами, чтобы вся кривая давленія не выходила изъ внутренней трети свода.

Мы выше сказали, что разрушеніе свода можетъ произойти еще вслѣдствіе скользенія какой либо его части вдоль сосѣдней. Пусть равнодѣйствующая всехъ силъ, дѣйствующихъ въ части свода выше шва  $UV$  (фиг. 11) равна  $R$ ; тогда равновѣсіе будетъ существовать, если въ этомъ швѣ существуетъ ей равная и противоположная сила. Разлагаемъ  $R$  на составляющія  $P = R \cos \gamma$  и  $T = R \sin \gamma$ ; сила  $P$  будетъ, если точка приложенія ея не слишкомъ близка къ поверхности свода, уничтожаться продольными напряжениями волоконъ сѣченія, а сила  $T$ —трѣнѣмъ въ швѣ  $UV$ . Обозначивъ коэффициентъ трѣнія черезъ  $f$ , будемъ имѣть величину трѣнія  $W = fP = fR \cos \gamma$ . Болѣе этой величины трѣнія быть не можетъ, слѣдовательно, устойчивость относительно скользенія возможна лишь при условіи  $T \leq fR \cos \gamma$ , или  $R \sin \gamma \leq f \cos \gamma$  и  $tg \gamma \leq f$ .

Обозначивъ уголъ трѣнія черезъ  $\varphi$ , имѣемъ  $f = tg \varphi$  и отсюда условное уравненіе будетъ

$$tg \gamma \leq tg \varphi \text{ или } \gamma \leq \varphi \dots \dots \dots (10a)$$

Если  $\gamma$  сдѣлается болѣе угла трѣнія, сила  $T$  уже не можетъ уничтожиться и произойдетъ скользеніе разсматриваемой части.

Приведенныя разсужденія пригодны и для того случая, если  $R$  уклоняется подъ угломъ  $\gamma$  вверхъ отъ нормали къ шву, но въ такомъ случаѣ скользеніе уже будетъ происходить въ обратную сторону. Такъ какъ это справедливо и для всякаго другого сѣченія, то отсюда вытекаетъ слѣдующій законъ: для устойчивости свода противъ скользенія уголъ между многоугольникомъ равнодѣйствующихъ и нормалью къ сѣченію нигдѣ не долженъ превышать угла трѣнія матеріала свода.

Въ большинствѣ случаевъ можно безъ особой погрѣшности въ этомъ правилѣ замѣнить многоугольничъ равнодѣйствующихъ кривою давленія.

Коэффициентъ  $f$  трѣнія можно принять въ предѣлахъ отъ 0,6 до 0,75, соответствующихъ  $\varphi = 31$  до  $37^\circ$ . При свѣжемъ растворѣ  $f$  можетъ уменьшиться до 0,51 и, слѣд.,  $\varphi$  — до  $27^\circ$ . Однако касательныя къ кривой давленія рѣдко образуютъ столь значительныя углы съ нормалью къ швамъ, такъ что, по крайней мѣрѣ, при обыкновенной, не особенно пологой формѣ сводовъ, рѣдко приходится производить повѣрку противъ скользенія. По вышесказанному, статика сама по себѣ не въ состояніи опредѣлить точное положеніе кривой давленія въ сводѣ. Покажемъ теперь, какимъ образомъ можно доказать устойчивость свода, не прибѣгая къ теоріи упругости и для этого сначала предположимъ абсолютно твердый матеріалъ свода.

Пусть дана половина симметрическаго свода, нагруженнаго также симметрично (фиг. 12), подверженнаго кромѣ вертикальныхъ давленій  $G$  еще горизонтальному распору  $H$  въ замкѣ; за точку приложенія распора  $H$  примемъ произвольную точку  $C$ . Если при этомъ принять, что кривая давленія пересѣкаетъ опорную плоскость въ точкѣ  $A$ , то равнодѣйствующая силъ  $G$  и  $H$  должна также пройти черезъ точку  $A$  и моментъ ея относительно этой точки равенъ нулю. Но мы знаемъ, что статическій моментъ равнодѣйствующей равенъ алгебраической суммѣ моментовъ составляющихъ, слѣдовательно

$$0 = Hh - Gg \text{ и } H = \frac{Gg}{h}$$

Этимъ предположеніемъ соответствуетъ совершенно опредѣленная кривая давленія  $CEA$ , показанная на фиг. 12.

Если, сохраняя прежнее положеніе точки  $C$ , принять точку  $A'$  за пересѣченіе кривой давленія съ опорною, то получимъ  $H' = \frac{Gg'}{h'}$

и этому предположенію будетъ соответствовать пунктирная кривая  $CE'A'$ . Такъ какъ  $\frac{g'}{h'} > \frac{g}{h}$ , то и  $H' > H$ . Изъ этого видно,

что увеличенію горизонтальнаго распора соответствуетъ болѣе пологая форма кривой давленія и обратно, при уменьшеніи распора кривая приметъ болѣе крутой изгибъ. Очевидно, что при одномъ и томъ же положеніи точки  $C$  приложенія горизонтальнаго распора въ замкѣ можно построить произвольное число кривыхъ давленія, не выходящихъ изъ свода и поэтому связанныхъ съ его устойчи-

зостью. При этомъ наименьшему значенію  $H$  будетъ соответствовать именно та изъ кривыхъ, которая ( $CFA$  на фиг. 13) въ какой либо точкѣ коснется внутренней поверхности свода, такъ какъ при дальнѣйшемъ уменьшеніи распора кривая вышла бы изъ свода. Но такъ какъ положеніе точки  $C$  нами выбрано произвольно, то мы можемъ его измѣнить, взявъ точку  $C'$  выше первоначальной  $C$ , причѣмъ вся кривая на ту же величину передвинется параллельно сама себѣ. Теперь является возможность еще дальѣе уменьшить распоръ— до тѣхъ поръ, пока кривая давленія не коснется какъ внутренней, такъ и наружной плоскостей свода, принявъ форму  $C'E'F'A'$ . Дальнѣйшее уменьшеніе распора и слѣдовательно новое перемѣщеніе кривой уже невозможно ни въ ту, ни въ другую сторону, такъ какъ она при этомъ вышла бы изъ свода.

Слѣдовательно, кривая  $C'E'F'A'$  соответствуетъ наименьшему распору и характеризуется тѣмъ, что она имѣетъ двѣ точки общихъ съ поверхностями свода, причѣмъ точка касанія ея къ наружной поверхности свода лежитъ выше точки касанія къ внутренней его поверхности.

Въ пологихъ сводахъ наружная точка касанія лежитъ обыкновенно въ замкѣ, а внутренняя—въ опорной плоскости.

Такимъ же образомъ получимъ кривую давленія  $C''F''E''A''$ , соответствующую наибольшему распору  $H$  (фиг. 14), у которой наружная точка касанія  $E''$  лежитъ дальѣе внутренней точки  $F''$ .

Въ пологихъ сводахъ точка  $F''$  будетъ находиться въ замкѣ, а  $E''$ —въ опорной плоскости.

На фиг. 15 кривая  $CA$  соответствуетъ наименьшему, а  $C'A'$ —наибольшему распору. Соответствующія величины послѣдняго будутъ

$$H_{\min.} = \frac{Gg}{h} \text{ и } H_{\max.} = \frac{G'g'}{h'} \dots \dots \dots (11).$$

Слѣдовательно, хотя мы и не можемъ точно опредѣлить истинную величину распора и истинное положеніе кривой давленія посредствомъ однихъ лишь уравненій равновѣсія, все-таки мы можемъ найти предѣлы какъ для величины  $H$ , такъ и для положенія кривой давленія. Если сводъ настолько тонокъ, что обѣ предѣльныхъ кривыхъ совпадаютъ въ одну, то это и будетъ единственная возможная кривая, такъ какъ  $H$  не можетъ быть ни болѣе  $H_{\max.}$  ни менѣе  $H_{\min.}$  Слѣдовательно это и будетъ истинная кривая и малѣйшее измѣненіе распора въ ту или другую сторону вызоветъ обрушеніе свода. Равновѣсіе такого свода можно назвать безразличнымъ. Для симметричныхъ сводовъ такое положеніе наступаетъ тогда, когда кривая давленія въ каждой изъ симметричныхъ половинъ свода имѣетъ три общихъ точки съ его поверхностями (фиг. 16).

Если же предѣльныя кривыя не совпадаютъ, то возможно, въ предѣлахъ между ними, нѣкоторое число кривыхъ и чѣмъ эти предѣлы обширнѣе, тѣмъ больше число возможныхъ измѣненій величины распора, не влекущихъ за собою обрушенія свода, другими словами, тѣмъ устойчивѣе послѣдній. Слѣдовательно сводъ будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе разность  $H_{\max.} - H_{\min.}$  и поэтому для опредѣленія степени устойчивости свода достаточно построить предѣльныя кривыя.

Всѣ наши разсужденія были произведены въ предположеніи абсолютно-твердаго матерьяла свода и поэтому мы получили возможность касанія кривой давленія къ поверхностямъ сводовъ. Въ дѣйствительности же, какъ мы видѣли ранѣе, кривая давленія не должна подходить къ этимъ поверхностямъ ближе, чѣмъ на вели-

чину  $c = \frac{2P}{3K}$ ; при касаніи же кривой въ какой-либо точкѣ къ

поверхности свода для этой точки было бы  $c = 0$  и, и такъ какъ

$$N_{\max.} = \frac{2P}{3c}, \text{ то здѣсь получилось бы } N_{\max.} = \frac{2P}{0} = \infty.$$

Поэтому условіемъ наивыгоднѣйшей устойчивости свода будетъ, чтобы кривыя давленія при наибольшемъ и наименьшемъ распорахъ отстояли бы отъ поверхностей свода не менѣе, какъ на величину

$\frac{2P}{3K}$  и чтобы разстояніе между обѣими кривыми было въ данныхъ

предѣлахъ наибольшее. Если обѣ кривыя не выходятъ изъ внутренней трети свода, то это еще выгоднѣе для устойчивости.

Мы видѣли ранѣе, что для обезпеченія свода противъ скольженія уголь между касательной къ кривой давленія во всякой ея точкѣ и нормалю къ соответствующему шву не долженъ быть болѣе угла тренія: слѣдовательно этому условію должны удовлетворять и обѣ предѣльныя кривыя. Если кривая давленія при наибольшемъ распорѣ (фиг. 17), построенная описаннымъ способомъ, образуетъ въ какой либо точкѣ  $O$  уголь  $\gamma$  болѣе  $\varphi$ , то слѣдуетъ, уменьшая  $H$  и придавая такимъ образомъ кривой болѣе крутой изгибъ, уменьшить величину  $\gamma$ , пока она не слѣбается  $= \varphi$ .

Слѣдовательно здѣсь кривою для наибольшаго распора будетъ изъ всѣхъ возможныхъ кривыхъ именно та, которая въ самой невыгодной точкѣ удовлетворяетъ условію  $\gamma = \varphi$ . Точно также предѣльною кривою для наименьшаго распора будетъ та (фиг. 17) для которой  $\gamma' = \varphi$ .

Изъ изложеннаго слѣдуетъ, что примѣненіе однихъ законовъ статики къ теоріи сводовъ не даетъ точныхъ формулъ для опредѣленія толщины сводовъ. Точная величина и направленіе равнодѣйствующей въ каждомъ швѣ остаются неизвѣстными и можно найти только предѣлы, между которыми могутъ измѣняться величина и направленіе этой равнодѣйствующей, не вызывая ни опрокидыванія, ни скольженія, ни раздробленія свода. Въ обыкновенныхъ, болѣе или менѣе простыхъ случаяхъ гражданской архитектуры этимъ можно ограничиться; поэтому если не желаемъ воспользоваться теорією упругости, то для практическихъ цѣлей достаточно точенъ слѣдующій пріемъ:

Сначала задаемся толщиной свода по существующимъ для этого эмпирическимъ формуламъ и вычерчиваемъ сводъ. Затѣмъ опре-

дѣляемъ приблизительно  $H_{\max.}$  и  $P_{\max.}$  находимъ отсюда  $c = \frac{2P_{\max.}}{3K}$ .

проводимъ двѣ кривыя на разстояніи  $c$  отъ поверхностей свода и строимъ между этими кривыми предѣльныя кривыя давленія для наибольшаго и наименьшаго распоровъ. Если эти кривыя не совпадаютъ и разница между соответствующими имъ  $H_{\max.}$  и  $H_{\min.}$  не особенно мало, то сводъ можно считать обезпеченнымъ противъ опрокидыванія и раздавливанія. Остается еще убѣдиться, что углы между касательными къ кривымъ и нормальными къ швамъ нигдѣ не превосходятъ величину  $\varphi$  и, если гдѣ либо  $\gamma > \varphi$ , то измѣнить, какъ сказано выше, кривую давленія. Чтобы получить достаточно большое значеніе  $c$ , задаемся возможно большою величиною  $P$ , которую получимъ, опредѣливъ распоръ для кривой давленія, проходящей черезъ нижнюю точку замкового шва и верхнюю точку шва въ опорѣ и сложивъ найденный распоръ съ нагрузкой одной половины свода въ равнодѣйствующую  $P$ . Найденное такимъ образомъ значеніе  $P$  во всякомъ случаѣ болѣе истиннаго, а слѣдовательно нельзя опасаться, что величина  $c$  окажется слишкомъ малою.

### Крестовые своды.

Кладка крестовыхъ сводовъ можетъ быть произведена двоякимъ образомъ— или такъ, чтобы швы ея въ пятахъ были параллельны стѣнамъ (прямая кладка)— или такъ, чтобы эти швы были нормальны (или почти нормальны) къ діагоналямъ свода (кладка ѣлкой).

Статическія условія равновѣсія въ обоихъ случаяхъ различны.

Разсмотримъ тотъ и другой случай въ примѣненіи къ покрытію крестовымъ сводомъ квадратнаго помѣщенія; примѣненіе же выведенныхъ результатовъ къ иной формѣ плана не представляетъ никакихъ затрудненій.

#### 1. Случай прямой кладки.

Для простоты расчета примемъ, что нагрузка равномерно распределена по горизонтальной проекціи свода и опредѣлимъ наибольшій и наименьшій горизонтальные распоры.

Разлагаемъ каждую четверть свода посредствомъ вертикальныхъ плоскостей, нормальныхъ къ оси свода, на отдѣльныя полосы; каждая такая полоса будетъ имѣть въ планѣ форму трапеціи. Разсмотримъ одну изъ такихъ полосъ *EF* (фиг. 18), находящуюся на разстояніи *w* отъ центра *S* и имѣющую ширину *dw*. Нагрузка этой полосы будетъ на единицу длины равна *qdw* и горизонтальный распоръ, соответствующій стрѣлѣ *f* кривой давления будетъ

$$dh = \frac{qx \cdot dw}{2f}$$

Такъ какъ  $x = w$ , то  $dw = dx$  и  $dh = \frac{qx^2 dx}{2f}$

Точка *E* представляетъ собою опору дугъ *EF* и *EG*: сила, передающаяся въ этой точкѣ обѣими дугами діагонали свода имѣетъ горизонтальную составляющую *dh* и вертикальную  $dv = qx \, dw = qx \, dx$ .

Вертикальныя составляющія обѣихъ силъ давления въ опорахъ соединяются въ точкѣ *E* въ одну вертикальную силу  $v_1 = 2 \, dv = 2 \, qx \, dx$ , дѣйствующую на діагональ; горизонтальныя же составляющія разлагаются, какъ показано на фиг. 19, каждая на силу, направленіе которой совпадаетъ съ направлениемъ діагонали *AC* и на другую силу, нормальную къ первой. Последнія силы взаимно уничтожаются, а первыя слагаются вмѣстѣ, такъ что

$$h_1 = 2 \, dh \, \text{Sin} \, 45^\circ = \frac{qx^2 \, dx}{2f} \cdot 2 \, \text{Sin} \, 45^\circ = \frac{qx^2 \, dx}{f \sqrt{2}} \quad (12)$$

Если кривизна всѣхъ четырехъ отрѣзковъ свода одинакова, то всякая полоска или элементъ свода, выбранный въ любомъ мѣстѣ, будетъ имѣть одно и тоже уравненіе равновѣсія и поэтому будетъ достаточно, если мы опредѣлимъ устойчивость крайняго, наиболѣе напряженнаго элемента, что дѣлается также, какъ и въ цилиндрическомъ сводѣ. Въ особенности важны условія, въ которыхъ находятся діагонали, представляющія собою опоры всѣхъ четырехъ отрѣзковъ.

Въ отдѣльныхъ точкахъ *E* діагонали подвержены вертикальнымъ и горизонтальнымъ усиліямъ. Вертикальныя силы  $v = qx \, dx$  равны вѣсу заштрихованныхъ полосокъ фиг. 18. Общее вертикальное усиліе, передаваемое углу *A* свода *ABCD* будетъ поэтому

$$V = \Sigma (v) = \int 2 \, qx \, dx = qa^2 \quad (13)$$

т. е. равно вѣсу одной четверти горизонтальной проекціи свода.

Горизонтальное усиліе, передаваемое угловой точкѣ *A* составляется изъ двухъ частей. Первая часть его есть сумма отдѣльныхъ  $h_1$ , дѣйствующихъ на участкѣ *SA*; обозначивъ эту часть черезъ  $H_1$ , имѣемъ

$$H_1 = \int_0^a \frac{qx^2 \, dx}{f \sqrt{2}}$$

Въ этомъ выраженіи *f* есть переменная величина. Веревочныя многоугольники или кривыя, соответствующіе отдѣльнымъ элементамъ, будутъ представлять собою параболы вслѣдствіе равномернаго распредѣленія нагрузки по горизонтальной проекціи свода и можно принять, что всѣ элементы имѣютъ одинъ и тотъ же многоугольникъ (кривую).

Тогда, если *C* есть подлежащая опредѣленію постоянная величина, будемъ имѣть  $x^2 = Cf$  и слѣд.  $f = \frac{x^2}{C}$ , а слѣдов.  $h_1 =$

$$\frac{Cq \, x^2 \, dx}{x^2 \sqrt{2}} = \frac{Cq \, dx}{\sqrt{2}}, \text{ т. е. величина постоянная для всѣхъ элементовъ. Означивъ черезъ } C \text{ подъемъ веревочной кривой въ крайнемъ элементѣ } a^2 = Cs \text{ и } C = \frac{a^2}{c},$$

$$h_1 = \frac{qa^2 \, dx}{C \sqrt{2}} \text{ и } H_1 = \frac{qa^2}{c \sqrt{2}} \int_0^a dx = \frac{qa^2}{c \sqrt{2}} \quad (14)$$

Вторая часть горизонтальнаго усилія есть тотъ горизонтальный распоръ, который вызывается въ замкѣ вертикальными нагрузками. Это можно выразить, составивъ уравненіе статическихъ моментовъ

для опорной точки *J* веревочной кривой на діагонали. Если эта точка лежитъ на величину *e* выше точки *d*, въ которой встрѣчаются на діагонали обѣ веревочныя кривыя, соответствующихъ крайнимъ элементамъ, то уравненіе статическихъ моментовъ будетъ слѣдующее (фиг. 20):

$$O = H_2(c - e) + \int h_1(c - f - e) - \int v \, \eta$$

Равнодѣйствующая всѣхъ вертикальныхъ усилій равна  $qa^2$ ; вертикальныя нагрузки возрастаютъ отъ *S* къ *A* соответственно ординатамъ прямой, такъ какъ нагрузка  $v = 2 \, qx \, dx = 2 \, q \cdot \frac{x}{\sqrt{2}}$

$$\frac{d \, \xi}{\sqrt{2}} = q \, \xi \, d \, \xi, \text{ и слѣдовательно на единицу длины } v = \frac{v}{d \, \xi} = q \, \xi.$$

При  $\xi = 0, v = 0$ ; при  $\xi = a \sqrt{2}, v = qa \sqrt{2}$ .

Треугольникъ *mo* даетъ это распредѣленіе грузовъ. Поэтому

$$\int v \, \eta = qa \sqrt{2} \cdot a \sqrt{2} \cdot \frac{a \sqrt{2}}{3} = \frac{qa^3 \sqrt{2}}{3}$$

Вводя сюда значеніе  $h_1$  изъ ур. (14), имѣемъ

$$O = H_2(c - e) + \frac{q}{\sqrt{2}} \int \frac{x^2 \, dx}{f} (c - f - e) - \frac{qa^3 \sqrt{2}}{3}$$

Но  $F = \frac{x^2}{C} = \frac{x^2}{a^2} c$ . Подставляя последнюю величину въ предыдущее выраженіе, имѣемъ послѣ нѣкоторыхъ преобразованій

$$H_2 = \frac{qa^2}{\sqrt{2}} \frac{e}{c(c - e)} \quad (15)$$

Когда  $e = 0$ , другими словами — если веревочная кривая проходитъ черезъ точку *L*, имѣемъ  $H_2 = 0$ . Слѣдовательно все горизонтальное усиліе, передаваемое углу будетъ равно

$$H = H_1 + H_2 = \frac{qa^2}{c \sqrt{2}} \left( 1 + \frac{e}{c - e} \right) = \frac{qa^2}{(c - e) \sqrt{2}} \quad (16)$$

При  $e = 0, H = \frac{qa^2}{c \sqrt{2}} = H_1$ .

Такъ какъ высота подъема  $c - e$  веревочной кривой можетъ быть заранѣе предположена въ опредѣленныхъ границахъ, то соответственно ей можно получить различныя величины для  $H$  и такимъ образомъ уже можно безъ труда опредѣлить обыкновеннымъ путемъ  $H_{\text{max}}$  и  $H_{\text{min}}$  для діагонали.

Графическое изслѣдованіе условій устойчивости крестоваго свода можетъ быть произведено слѣдующимъ путемъ:

Разлагаемъ (фиг. 22) одну изъ четвертей свода, вертикальными плоскостями, нормальными къ ея оси, на нѣкоторое число полосокъ или элементовъ равной ширины —  $A E_{II} F_{II} B, E_{II} E_{II} F_{II} F_{II}, E_{II} E_{II} F_{II} F_{II} \dots$  и строимъ для линий  $J K, J_1 K_1, J_{II} K_{II} \dots$ , проходящихъ черезъ центры тяжести этихъ полосокъ, веревочныя кривыя, принимая для каждой по три точки. Пусть нагрузка ограничена снизу (фиг. 21) внутренней поверхностью свода, а сверху какою либо наклонною прямою. Если кривизна всѣхъ элементовъ одинакова, то построение веревочной кривой и многоугольника равнодѣйствующихъ для крайняго элемента съ осью центра тяжести  $J_{II} K_{II}$  даетъ намъ одновременно веревочныя кривыя и для остальныхъ элементовъ. Поэтому производимъ означенное построение для  $J_{II} K_{II}$ , замѣняя здѣсь, а равно и въ прочихъ элементахъ, какъ показано пунктиромъ на фиг. 22, ихъ трапециoidalное очертаніе — прямоугольнымъ.

При распредѣленіи поверхности нагрузки въ отрѣзкахъ слѣдуетъ ширину послѣднихъ измѣрять по разстояніямъ между  $J_{II}, J_{II} \dots$ ; такимъ образомъ, если веревочная кривая для  $J_{II} K_{II}$  будетъ  $S I II III IV J_{II}$ , то для  $J_{II} K_{II}$  будетъ  $S I III III J_{II}$  и для  $J K$  будетъ  $S I J$ . Отсюда видно, что при сдѣланныхъ предположеніяхъ и горизонтальный распоръ во всѣхъ элементахъ будетъ одинаковъ.

Силы, передающіяся четвертью свода  $ASB$  диагонали въ точкахъ  $J, J_1, J_2, J_3$ , выразятся такимъ образомъ по величинѣ и направленію соответствующими лучами  $O\beta, O\alpha, O\delta, O\varepsilon$  многоугольника силъ (фиг. 22), гдѣ  $\alpha\beta = 1, \beta\alpha = 2, \alpha\delta = 3$  и  $\delta\varepsilon = 4$ .

При квадратной формѣ плана свода точно такія же силы будутъ передаваться диагонали и отъ элементовъ другой четверти  $ASD$  свода. Поэтому слагаемъ сперва вертикальныя силы, дѣйствующія въ точкахъ  $J, J_1, J_2, J_3$ , затѣмъ дѣйствующія тамъ же горизонтальныя силы и соединяемъ обѣ полученныя составляющія въ одну равнодѣйствующую. Вся вертикальная сила въ точкѣ  $J = 2\alpha\beta$ , въ  $J_1 = 2\alpha\gamma$  . . . ; горизонтальная сила во всякой точкѣ  $J$  совпадаетъ въ планѣ съ направлениемъ диагонали и равна  $\sqrt{2}H = H\sqrt{2}$ . Ея величина и направленіе получаются отложивъ  $OO_1 = H$  нормально къ  $O\alpha$  и проведя прямую  $O_1\alpha$ . Затѣмъ откидываемъ  $\alpha\varepsilon = 2\alpha\beta$ , тогда  $O_1\varepsilon$  по величинѣ и направленію представитъ собою равнодѣйствующую всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на диагональ въ точкѣ  $J$ . Такимъ же образомъ найдутся  $O_1\eta, O_1\theta$  и  $O_1\chi$ , равнодѣйствующія въ точкахъ  $J_1, J_2$  и  $J_3$ . Остается теперь опредѣлить усилія, дѣйствующія въ диагонали и веревочную кривую для послѣдней. Силы  $r_1 = O_1\varepsilon, r_2 = O_1\eta, r_3 = O_1\theta$  и  $r_4 = O_1\chi$  дѣйствуютъ въ точкахъ  $J', J'_1, J'_2, J'_3$  (фиг. 22); ихъ равнодѣйствующая  $R$  опредѣлится по величинѣ, направленію и положенію посредствомъ многоугольника силъ  $O_1abcd$  (въ которомъ силы отложены въ масштабѣ, уменьшенномъ въ 4 раза) и веревочнаго многоугольника  $m, m_1, m_2, m_3, m_4$  съ произвольно взятымъ полюсомъ  $P$ .

Послѣдняя равнодѣйствующая равна и параллельна прямой  $O_1d$  и проходитъ черезъ точку  $g$ .

Если веревочная кривая для диагонали должна проходить черезъ обѣ точки  $S'$  и  $N$  имѣть въ  $S'$  горизонтальную касательную, то величина силы  $H$ , дѣйствующей въ  $S'$  опредѣляется тѣмъ условіемъ, что равнодѣйствующая всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на одну половину, должна проходить черезъ  $N$  и слѣдовательно ея статическій моментъ относительно  $N$  долженъ быть равенъ 0. Поэтому условное уравненіе будетъ

$$0 = H_0 F - Re, \text{ откуда } H_0 = \frac{Re}{F}$$

Чтобы построить  $H_0$ , откладываемъ на продолженіи линіи  $\alpha O_1$  (фиг. 23)  $O_1i = e$  и на линіи направленія  $R = O_1k = f$ , проводимъ  $ki$  и черезъ конецъ  $d$  прямой  $R$  проводимъ прямую параллельную къ  $ki$  до пересѣченія съ  $\alpha O_1$  въ точкѣ  $Q$ ; тогда имѣемъ:

$$\frac{O_1i}{O_1k} = \frac{O_1Q}{O_1d}, \text{ т. е. } \frac{e}{f} = \frac{O_1Q}{R} \text{ и } O_1Q = \frac{Re}{f} = H_0.$$

Теперь уже легко сложить  $H_0$  послѣдовательно съ  $r_1, r_2, r_3$  и получить такимъ образомъ веревочную кривую для диагонали.

## 2. Случай кладки въ елку.

Разсѣкаемъ сводъ (фиг. 24) на элементы вертикальными плоскостями, горизонтальныя слѣды которыхъ перпендикулярны къ горизонтальнымъ проекціямъ диагоналей. Тогда каждый элементъ будетъ состоять изъ двухъ половинокъ, сходящихся на диагонали.

Послѣдняя будетъ одною изъ опоръ для каждой такой половины; другая же опора для каждаго элемента, лежащаго въ четырехугольникѣ  $LMNO$  образуется половиною соответственнаго элемента смежной четверти свода (напр. для элемента  $E'F'$  будетъ  $F'E'$ ), а для элементовъ, находящихся внѣ четырехугольника  $LMNO$  — будетъ на аркахъ щекъ  $AB, BC$  . . . .

Примемъ здѣсь, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, что нагрузка  $q$  на единицу площади равномерно распределена  $m$  горизонтальной проекціи свода и рассмотримъ сначала элементъ  $GEF$ .

Пусть стрѣла кривизны веревочной кривой, построенной въ предположеніи трехъ данныхъ точекъ, будетъ  $f$ ; тогда горизонтальный распоръ въ замкѣ будетъ (фиг. 24).

$$dh = \frac{q dz \cdot z^2}{2f}$$

Эту же величину будетъ имѣть и горизонтальная составляющая силы, передающей на диагональ въ точкѣ  $E$  отъ половины элемента  $EF$ . Половина  $GE$  передаетъ диагонали въ точкѣ  $E$  равнодѣйствующую, которой вертикальная составляющая точно также равна  $dv = qzdz$ , а горизонтальная составляющая по величинѣ и направленію равна, но прямо противоположна такой же силѣ отъ  $EF$ . Поэтому обѣ горизонтальныхъ составляющихъ взаимно уничтожаются и слѣдовательно общою равнодѣйствующею будетъ вертикальная сила

$$v = 2 qz dz.$$

Поэтому въ данномъ случаѣ диагональ будетъ подвергаться дѣйствию лишь вертикальныхъ силъ.

Въ точкѣ  $F$  (фиг. 25) дѣйствуютъ лишь двѣ горизонтальныхъ силы  $dh$  въ направленіи смежныхъ элементовъ; обѣ составляющія этихъ силъ  $dh$ , направленныя нормально къ продольной оси цилиндра, образующаго четверть свода, взаимно уничтожаются; обѣ же составляющія, перпендикулярныя къ первымъ, слагаются, образуя силу

$$dh_1 = 2 dh \sin 45^\circ = dh \sqrt{2}$$

Подставляя найденную величину  $dh$  и замѣчая, что  $x =$

$$z \sqrt{2} \text{ или } z = \frac{x}{\sqrt{2}}, \text{ откуда } dz = \frac{dx}{\sqrt{2}}, \text{ имѣемъ}$$

$$dh_1 = \frac{q x^2 dx}{4f} \dots \dots \dots (17)$$

Каждый двойной элементъ  $EF'E'$  въ предѣлахъ отъ  $x = 0$  до  $x = a$  производитъ горизонтальное усиліе  $dh$ , на замокъ щековой арки. Слѣдствіемъ совокупности этихъ усилій будетъ существованіе въ замкѣ послѣдней горизонтальной силы

$$H = \int_0^a \frac{qx^2 dx}{4f}$$

Величина  $f$  есть переменная и, принимая тѣ же предположенія, что и въ предшествующемъ случаѣ, получимъ  $Z^2 = Cf$ , откуда

$$f = \frac{z^2}{C} = \frac{x^2}{2C}$$

Для  $z = \frac{a\sqrt{2}}{2}$  пусть  $f = F$ ; тогда  $\frac{a^2}{2} = CF, C = \frac{a^2}{2F}$

$$\text{и } f = \frac{x^2 F}{a^2}, \text{ а слѣдовательно}$$

$$H = \int_0^a \frac{qx^2 \cdot a^2 dx}{4F x^2} = \frac{qa^3}{4F} \dots \dots \dots (18)$$

Разсмотримъ теперь отрѣзокъ  $G,, E,, F,,$ , лежащій внѣ четырехугольника  $LMNO$ , причемъ предположимъ, что для половинокъ элементовъ, образующихъ здѣсь острия полуарки, возможна такая веревочная кривая, при которой въ замкѣ будетъ дѣйствовать лишь одно горизонтальное усиліе  $dh'$ . Оба такихъ горизонтальныхъ усилія, передающихся диагонали въ точкѣ  $E''$  (фиг. 26), изъ которыхъ каждое равно  $dh' = \frac{q \zeta^2 d \zeta}{2 \varphi}$ , взаимно уничтожаются и поэтому равнодѣйствующая въ точкѣ  $E''$  есть вертикальная сила  $v = 2 q \zeta d \zeta$ .

Въ свою очередь сила  $v$  равна вѣсу примыкающаго элемента  $G,, E,, F,,$ , равному вѣсу полоски, отстоящей отъ середины на величину  $z = \zeta$ ; отсюда слѣдуетъ, что нагрузка щековой арки отъ  $S$  къ  $A$  сначала возрастаетъ до точки  $U$  соответственно ординатамъ прямой, уравненіе которой есть  $y = 2 q z$ , а отъ точки  $U$  до  $S$  убываетъ до нуля по тому же закону.

Въ точкѣ  $F'$  (фиг. 26) на щековую арку дѣйствуетъ сила

$$dh' = \frac{q \zeta^2 d \zeta}{2 \varphi}$$

Образующая уголъ въ  $45^\circ$  съ направлениемъ  $AB$  и она разлагается на составляющую  $dh' \cos 45^\circ$ , совпадающую съ направлениемъ  $AB$  и на составляющую  $dh' \sin 45^\circ$ , къ ней перпендикулярную. Первая изъ этихъ силъ уничтожается такою же по величинѣ и обратную по направленію силою, проходящею черезъ точку  $F''$ , симметричную съ  $F'$ , относительно оси свода. Вторая составляющая

$$dh' \sin 45^\circ = \frac{q \xi^2 d \xi}{2 \sqrt{2} \varphi};$$

такъ какъ  $\xi = \frac{\xi}{\sqrt{2}}$ , то

$$dh' \sin 45^\circ = \frac{q \xi^2 d \xi}{8 \varphi} \dots \dots \dots (19)$$

Такимъ образомъ отъ крестоваго свода арка  $AB$  не передается никакихъ вертикальныхъ усилій, а одни лишь горизонтальныя: въ замкѣ отдѣльная сила  $\frac{q a^2}{4 F}$  и кромѣ того на каждую единицу

длины горизонтальной проекціи арки — сила  $\frac{q \xi^2}{8 \varphi}$ . Эти силы

или должны уничтожаться такими же равными и противоположными усиліями смежнаго крестоваго свода, или же арка связывается со стѣною, которая въ состояніи принять на себѣ ихъ давленіе.

Опредѣленіе усилій въ діагонали представлено графически на фиг. 9. Принимая для веревочной кривой три точки и обозначивъ стрѣлу прогиба опредѣленной ими кривой черезъ  $c$ , имѣемъ горизонтальный распоръ въ діагонали

$$H = \frac{1}{C} \frac{q a \sqrt{2}}{2} \frac{a \sqrt{2}}{2} \cdot \frac{a \sqrt{2}}{2} = \frac{q a^2}{c \sqrt{2}} \dots \dots (20)$$

Построеніе веревочныхъ кривыхъ для отдѣльныхъ частей четверти свода настолько просто, что не требуетъ особыхъ объясненій, поэтому покажемъ здѣсь только построеніе кривой для діагонали.

Разлагаемъ каждую четверть свода (фиг. 27) на нѣкоторое число элементовъ, имѣющихъ въ планѣ форму трапецій или (крайніе) треугольничковъ и находимъ всѣа, соответствующіе этимъ элементамъ. Это и будутъ силы, вертикально дѣйствующія на діагонали въ точкахъ пересѣченія послѣдней съ осью центра тяжести (11, 22, 33 . . .) каждого отрѣза. Принимая три точки для веревочной кривой діагонали, или же двѣ точки и горизонтальную касательную въ замкѣ для половины, строимъ извѣстнымъ способомъ \*) веревочную кривую.

Для полюса  $O$  и обѣихъ данныхъ точекъ  $S$  и  $A$  получится (фиг. 27) многоугольникъ составляющихъ  $S I II III IV V VI A$ , откуда уже легко опредѣлить соответствующую кривую давленія.

Горизонтальныя силы, передаваемые щековой аркѣ, опредѣляются легко, построивъ веревочныя кривыя для каждаго отдѣльнаго элемента.

### Купольный сводъ.

Купольный сводъ опредѣляется какъ поверхность, происходящая отъ вращенія какой либо производящей кривой вокругъ вертикальной оси. Въ послѣдующихъ разсужденіяхъ мы ограничимся тѣмъ предположеніемъ, что нагрузка его неподвижна и равномерна на протяженіи каждаго кольца, образуемаго двумя параллельными кругами. Если мы предположимъ далѣе, что толщина свода незначительна въ сравненіи съ радиусомъ его производящей, то можно принять, что внутреннія силы, дѣйствующія на каждый элементъ свода  $MNOP$  (фиг. 28), ограничиваемый двумя меридіанами и двумя параллельными кругами, направлены касательно къ поверхности свода.

Принимаемъ за начало координатъ замокъ свода (фиг. 29), вертикальную ось свода — за ось  $Y$ , а проведенную въ замкѣ — къ ней перпендикулярную прямую за ось  $X$  и опредѣлимъ условія равновѣсія элемента  $MNOP$  (фиг. 28). На каждую единицу длины  $MN$  пусть дѣйствуетъ касательное усиліе  $T$ , слѣдовательно на длину  $sd\omega$  — усиліе  $Tx d\omega$ . На  $OP$  дѣйствуетъ слѣдовательно усиліе  $(T + dT)(x + dx) d\omega$ ; на  $MP$  и  $NO$  дѣйствуютъ кольцевыя

усилія, положимъ равныя  $R$  на единицу длины, а слѣдовательно на длину  $ds$  равныя  $R ds$ . Кромѣ того еще имѣется переменная нагрузка  $p$  на единицу площади купола, слѣдовательно на элементъ  $MNOP$  равная  $pds x d\omega$ . Чтобы расположить всѣ силы въ одной плоскости, найдемъ равнодѣйствующія обонхъ кольцевыхъ усилій  $R ds$ ; они равны  $H = 2 R ds \cdot \sin \frac{d\omega}{2}$ ; такъ какъ по малости  $\frac{d\omega}{2}$  можно принять:  $\sin \frac{d\omega}{2} = \frac{d\omega}{2}$ , то

$$H = R ds d\omega \dots \dots \dots (21).$$

Общее уравненіе равновѣсія для элемента  $MNOP$  будетъ поэтому

$$0 = Tx d\omega \cos \tau - (T + dT)(x + dx) d\omega \cos (\tau + d\tau) + R ds d\omega.$$

Произведя умноженіе и откинувъ безконечно малыя ниже перваго порядка, получимъ

$$0 = Tx \cdot \sin \tau d\tau - dTx \cos \tau - T dx \cdot \cos \tau + R ds = -d(Tx \cos \tau) + R ds, \text{ откуда}$$

$$R ds = d(Tx \cos \tau) \dots \dots \dots (22)$$

Далѣе,

$$0 = pds \cdot x d\omega - Tx d\omega \sin \tau + (T + dT)(x + dx) d\omega \sin (\tau + d\tau) \sin (\tau + d\tau) = \sin \tau + \cos \tau d\tau.$$

Производя означенное умноженіе и пренебрегая безконечно малыми ниже перваго порядка, получимъ

$$0 = px ds + d(Tx \sin \tau), \text{ откуда} \\ -px ds = d(Tx \sin \tau) \dots \dots \dots (23)$$

Оба ур. (22) и (23) даютъ возможность опредѣленія одновременныхъ значений  $T$  и  $R$ , соответствующихъ какой либо нагрузкѣ и данной формѣ кривой производящей.

При шаровомъ куполѣ производящая есть кругъ.

Соответствующія значенія  $T$  и  $R$  будутъ найдены, если въ ур. (22) и (23) подставитъ значенія  $x$  и  $s$ , соответствующія кругу. Какъ видно изъ фиг. 29,  $x = r \sin \tau$  и  $ds = r d\tau$ ; полагая при этомъ величину  $p$  постоянною для всего купола, получимъ,

$$pr \sin \tau \cdot r d\tau = d(Tr \sin \tau \cdot \sin \tau) \text{ и} \\ \int_0^\tau d(Tr \sin^2 \tau) = -pr^2 \int_0^\tau \sin \tau d\tau$$

За высшій предѣлъ слѣдуетъ принять то значеніе  $\tau$  и  $T$ , которое соответствуетъ верхней оконечности производящей кривой; въ данномъ случаѣ это будетъ точка  $s$ , для которой  $\tau_0 = 0$ ; поэтому

$$Tr \sin^2 \tau = + pr^2 (\cos \tau) \Big|_0^\tau = -pr^2 (1 - \cos \tau), \\ T = - \frac{pr (1 - \cos \tau)}{\sin^2 \tau} = - \frac{pr (1 - \cos \tau)}{1 - \cos^2 \tau} = - \frac{pr}{1 + \cos \tau} \dots \dots (24)$$

Вставляя найденную величину въ ур. (22), имѣемъ:

$$R ds = Rr d\tau = d \left( - \frac{pr}{1 + \cos \tau} r \sin \tau \cos \tau \right) \\ = -pr^2 d \frac{\sin \tau \cos \tau}{1 + \cos \tau}$$

$$R = -pr \frac{\cos 2\tau + \cos^2 \tau}{(1 + \cos \tau)^2} \dots \dots \dots (25)$$

Найденныя ур. (24) и (25) относятся къ куполамъ, замкнутымъ сверху. Усилія въ замкѣ опредѣляются, подставивъ  $\tau = 0$ . Тогда

$$T_0 = - \frac{pr}{2} \text{ и } R_0 = - \frac{pr}{2} \dots \dots \dots (26)$$

т. е. меридіональныя или кольцевыя усилія въ замкѣ равны

\*) Стр. 83

между собою, другими словами здѣсь существуетъ одинаковое по всемъ направлѣнїямъ напряженіе равное  $\frac{p r}{2}$  на единицу площади.

Для полушароваго купола, на его экваторѣ

$$\tau = \frac{\pi}{2}, \text{ и поэтому}$$

$$\frac{T \pi}{2} = - p r \text{ и } \frac{R \pi}{2} = + p r \dots \dots \dots (27)$$

Слѣдовательно меридіональное усиліе возрастаетъ отъ замка, гдѣ оно равно  $\frac{p r}{2}$  до экватора, гдѣ оно  $= p r$  и при этомъ постоянно остается сжимающимъ, такъ какъ  $1 + \cos \tau$  никогда не можетъ быть отрицательной величиной. На экваторѣ направленіе  $T$  вертикально, такъ какъ оно одинаково съ направлѣнїемъ касательной къ производящей.

Сумма всехъ  $\frac{T \pi}{2}$  равна вѣсу всего купола, такъ какъ  $\frac{T \pi}{2}$

представляетъ собою сумму давленій въ опорахъ. Слѣдовательно

$$\sum \left( \frac{T \pi}{2} \right) = p r \cdot 2 \pi r = 2 \pi \cdot p r^2 \text{ и вѣсъ купола поэтому равенъ}$$

$$\frac{4 \pi r^2}{2} p = 2 \pi p r^2. \text{ Кольцевое усиліе } R \text{ измѣняется отъ сжатія } \frac{p r}{2}$$

въ замкѣ до вытягиванія  $p r$  на экваторѣ и слѣдовательно на нѣкоторомъ изъ промежуточныхъ колець равно нулю. Обозначивъ черезъ  $\tau$  уголъ, соответствующій этому кольцу, имѣемъ

$$0 = p r \frac{\cos 2 \tau + \cos^2 \tau}{(1 + \cos \tau)^2}, \text{ откуда}$$

$$\cos \tau = 0,618 \text{ и } \tau = 51^\circ 50' \dots \dots \dots (28).$$

Слѣдовательно во всехъ кольцахъ, соответствующихъ углу, меньшему  $51^\circ 51'$  будетъ сжатіе, а въ соответствующихъ большему углу — вытягиваніе. Если не принимать въ расчетъ способности раствора сопротивляться разрыву, то послѣднія изъ названныхъ колець состояща изъ отдѣльныхъ камней, будутъ въ состояніи сопротивляться вытягиванію, а безъ этого, какъ мы видимъ, не можетъ существовать равновѣсія. Другими словами, неизбежно приходится прибѣгать къ вспомогательнымъ средствамъ, каковыми являются стягивающія куполь желѣзныя кольца, или забутка кругомъ купола до известной вышины.

Забутка принимаетъ кольцевыя усилія  $R$  и поэтому, по закону дѣйствія и противудѣйствія, должна оказывать на нихъ равныя и противоположныя усилія, что и нужно имѣть въ виду при ея расчетѣ. Разсматривая часть дуги  $s t$  (фиг. 30), соответствующей углу  $d \omega$ , имѣемъ, что равнодѣйствующая обѣихъ  $R$  есть направленная внаружу сила  $h = 2 R \sin \frac{d \omega}{2} = R d \omega$ . Означая

краткости

$$p = - \frac{\cos 2 \tau + \cos^2 \tau}{(1 + \cos \tau)^2} \dots \dots \dots (29)$$

имѣемъ

$$R = p p r \text{ и } h = p p r d \omega \dots \dots \dots (30)$$

Слѣдовательно на единицу длины дуги, длина которой равна  $x d \omega$ , вслѣдствіе кольцевыхъ усилій, приходится горизонтальная сила, дѣйствующая на забутку и равная

$$h = \frac{p p r d \omega}{x d \omega} = \frac{p p r}{x} \dots \dots \dots (31)$$

Изъ сказаннаго также слѣдуетъ, что (не полагаясь на сцѣпленіе раствора) забутка должна быть доведена до высоты, соответствующей углу  $\tau = 51^\circ 51'$ .

Если куполь имѣть форму шароваго отрѣзка, меньшаго половины шара, то на опоры дѣйствуютъ кромѣ силъ  $h$ , еще и меридіальныя усилія  $T$ , соответствующія наибольшему для даннаго случая значенію угла  $\tau$ .

$T$  имѣетъ горизонтальную составляющую  $T \cos \tau$  и вертикальную  $T \sin \tau$ ; первая уничтожается опорами или стягивающимъ кольцомъ, напряженіе въ которомъ вычисляется слѣдующимъ образомъ.

На дугу  $st$  (фиг. 31) длиною  $x d \omega$  дѣйствуетъ направленная внаружу сила  $T \cos \tau d \omega$ , которая должна уничтожиться обѣими кольцевыми напряженіями  $W$ ; поэтому

$$T \cos \tau x d \omega = 2 W \sin \frac{d \omega}{2} = W d \omega;$$

$$W = T x \cos \tau = \frac{p r \cdot \tau \sin \tau \cdot \cos \tau}{1 + \cos \tau} = \frac{p r^2 \sin \tau \cos \tau}{1 + \cos \tau} \dots \dots \dots (32)$$

Выведенныя значенія  $T$  и  $R$  соответвуютъ кривымъ равновѣсія и при относительно небольшой толщинѣ купола ихъ можно съ достаточной точностью принять за среднія величины; тѣмъ не менѣе, возможны и другія, большія или меньшія найденныхъ, величины  $T$  и  $R$ , соответствующія инымъ веревочнымъ кривымъ, если таковыя не совпадаютъ съ средней линіей свода.

Графическое опредѣленіе  $T$  и  $R$  въ различныхъ мѣстахъ купола можетъ быть произведено аналогично съ подобнымъ же опредѣленіемъ въ другихъ сводахъ, задавшись опредѣленными условіями для кривой давленія. Для этого изслѣдуемъ часть купола, соответствующую центральному углу  $\alpha$  и начинающуюся отъ замка или кольца фонаря.

Если мы относительно кривой давленія поставимъ условіемъ, чтобы она не выходила изъ внутренней трети и предположимъ отсутствіе скользенія, то кривая давленія опредѣлится слѣдующимъ образомъ:

Пусть нагрузка камня верхняго кольца равна  $g$ , ( $= \alpha \beta$ ), тогда камень этотъ будетъ подвергаться дѣйствию силы  $g$ , и (пока еще неизвѣстной) равнодѣйствующей  $h$ , напряженной въ верхнемъ кольцѣ. Наименьшее значеніе  $h$ , при которомъ кривая давленія удовлетворитъ приведеннымъ выше условіямъ, будетъ въ томъ случаѣ, когда равнодѣйствующая  $I$  силъ  $g$ , и  $h$ , пройдетъ черезъ нижнюю точку  $c$ , внутренней трети шва  $a, b$ , и составитъ съ нормалью къ шву уголъ  $\vartheta$ . Пусть прямая, проведенная черезъ  $c$ , подъ угломъ  $\vartheta$  къ нормали шва пересѣчетъ направленіе  $g$ , въ точкѣ  $i$ : тогда послѣдняя и будетъ точкою приложенія  $h$ . Величина  $h$ , и  $I$  опредѣляется многоугольникомъ силъ, проведя черезъ  $\beta$  параллельную къ направленію  $J$ . Тогда получимъ  $O, \alpha = h_1$  и  $O, \beta = I$ . Если точка пересѣченія  $h$ , съ швомъ  $ab$  получится выше внутренней трети, то слѣдуетъ отвести  $h$ , къ верхней точкѣ внутренней трети и соединить вновь полученное пересѣченіе  $g$ , и  $h$ , съ точкой  $c$ , причѣмъ уже уголъ между  $J$  и нормалью къ шву будетъ менѣе  $\varphi$ .

Переходя къ слѣдующему камню, мы видимъ, что на него дѣйствуютъ силы  $g_2, J$  и  $h_2$ . Наименьшее значеніе  $h_2$ , удовлетворяющее приведеннымъ условіямъ, будетъ то, при которомъ  $h_2$  пройдетъ черезъ верхнюю точку внутренней трети линіи центра тяжести камня, т. е. черезъ  $e_2$ , а равнодѣйствующая силъ  $I g_2$  и  $h_2$  пересѣчетъ шовъ  $a_2 b_2$  въ нижней точкѣ  $c_2$  внутренней трети. Линія, соединяющая  $c_2$  съ точкой  $d_2$  пересѣченія равнодѣйствующей силъ  $J$  и  $g_2$  съ  $h_2$ , даетъ направленіе  $II$ , величина которой будетъ найдена, проведя черезъ  $\gamma$  параллельную  $\gamma O_2$  къ  $II$ .

Уголъ, образуемый  $II$  съ нормалью къ шву  $a_2 b_2$  менѣе, нежели  $\vartheta$  у слѣдовательно устойчивость обезпечена.

Если бы этотъ уголъ оказался болѣе  $\varphi$ , то слѣдовало бы отвести и увеличить  $h_2$  на столько, чтобы уголъ этотъ сдѣлался поменьшей мѣрѣ равнымъ  $\varphi$ .

Продолжая описанныя построенія для 3-го, 4-го и т. д. камней, получимъ возможную кривую давленія, которая должна быть близка къ дѣйствительной.

### Новый театр въ Тифлисъ.

Первый проектъ для Тифлискаго театра, премированный на конкурсѣ въ 1877 году и опубликованный въ Зодчѣмъ 1879, л. 10, 11, и 12, пересоставленъ мною вслѣдствіе перемѣны мѣста постройки. Весною 1878 года я побывалъ въ Тифлисъ, ознакомился съ мѣстными матеріалами, пріемами работъ и пр. и окончилъ весною 1879 года и проектъ и все рабочіе чертежи. Нѣсколько раньше отправился туда помощникъ мой, гражданскій инженеръ Штернь, подъ руководствомъ коего и начата была постройка т. е. сломка старыхъ зданій и земляныя работы. Тогда однако коммиссія по постройкѣ театра пожелала имѣть въ зданіи особую парадную лѣстницу и нѣкоторыя другія расширенія; вслѣдствіе сего работы были

оставлены и я принялся за составление новаго проекта, третьяго, по счету, который и выполненъ въ натурѣ по одобреніи его Его Императорскимъ Высочествомъ Намѣстникомъ Кавказскимъ, 18-го Февраля 1880 года. По предварительной смѣтѣ стоимость театра была разсчитана на 500 т. рублей.

Въ Іюлѣ мѣсяцѣ были начаты фундаменты; но затѣмъ работы подвигались очень медленно; главнѣйшимъ тормазомъ оказалась неудавшаяся заготовка кирпича и т. п.

Въ 1881 году, по оставленіи края Великимъ княземъ Намѣстникомъ, дѣло постройки остановилось почти вовсе; въ Мартѣ 1882 года производитель работъ Штернъ отказался отъ дѣла по болѣзни и вслѣдъ затѣмъ просилъ и я объ освобожденіи меня отъ должности главнаго архитектора по постройкѣ Тифлискаго театра, убѣдившись, что за 3000 верстъ руководить постройкою невозможно. Мое мѣсто, кажется, занялъ членъ коммисіи по постройкѣ академикъ Симонсонъ, получившій на конкурсѣ 1877 г. 2-ую премію. Постройка, которая только-что начинала выходить изъ земли, подвинулась тогда съ необычайною быстротою и вскорѣ театръ былъ оконченъ въ чернѣ. Съ 1886 г. во главѣ дѣла стоитъ архитекторъ Зальцманъ, пользующійся въ Тифлисѣ громкимъ именемъ... Не могу не пожелать отъ души, чтобъ ему было суждено закончить начатое мною дѣло, за которое мой добрый товарищъ взялся какъ за свое собственное.

Театръ имѣетъ 36 X 24 саж. или 864 кв. саж.

Отличается онъ отъ другихъ подобнаго рода зданій преимущественно формою зала, на подобіе театра въ Байрейтѣ. Особенной красоты этотъ залъ представить не можетъ, но видѣть въ немъ будутъ безусловно всѣ посѣтителы и слышать, вѣроятно, тоже. Всѣхъ мѣстъ будетъ въ театрѣ 1,350; въ партерѣ 282, мѣстъ за креслами 168; въ ложахъ бенуара 58; въ ложахъ бель-этажа 140; 1-го яр. 140; 2-го яруса 140; на галлерей 250; въ амфитеатрѣ 192.

Проектъ отопленія и вентиляціи, въ которомъ охлажденіе зала лѣтомъ составляетъ главнѣйшую задачу, разработанъ проф. Лукашевичемъ. По смѣтѣ, составленной въ началѣ 1882 г., стоимость постройки безъ внутренняго убранства, опредѣлилась:

1. Фундаменты съ землею работою . . . . .	60,000 р.
2. Кирпичная работа . . . . .	149,875 >
3. Цоколь и облицовка фасадныхъ стѣнъ песчанникомъ . . . . .	81,861 >
4. Лѣстницы . . . . .	56,760 >
5. Металлическія работы . . . . .	46,000 >
6. Цинковыя кровли . . . . .	18,945 >
7. Штукатурныя работы . . . . .	24,125 >
8. Столярныя работы . . . . .	53,684 >
9. Плотничныя работы . . . . .	30,000 >
10. Отопленіе и вентиляція . . . . .	100,000 >
Итого . . . . .	621,250 р.

Въ настоящее время работы въ театрѣ, за недостаткомъ строительныхъ суммъ, остановлены.

В. Шретеръ.

### Одесскій театръ.

Одесская городская дума приговоромъ отъ 3 марта 1880 года, постановила устроить въ г. Одессѣ театръ на 1,600—1,800 зрителей, стоимостью въ 600 т. рублей, а 28 января 1882 г. рѣшила увеличить эту сумму до 1.006,000 рублей, согласно проекта, составленнаго архитекторами гг. Фельнеромъ и Гельмеромъ изъ Вѣны.

15-го сентября 1883 г. дума избрала исполнительную коммисію по постройкѣ театра и дополнила ассигнованную сумму еще 47,000 руб. На устройство хозяйственныхъ вещей въ зданіи театра 7-го сентября 1884 г. коммисія заключила контрактъ съ уполномоченнымъ австрійскаго подданнаго Фрея, подрядчика строительныхъ работъ изъ Вѣны, — инженеромъ Брайковичемъ.

Главныя части условія были постановлены слѣдующія:

1) Фрей на свой счетъ построить театръ на Театральной площади между Ланжероновскимъ и Театральнымъ переулками по проекту вѣнскихъ архитекторовъ Фельнера и Гельмера; съ обязанностию произвести своими средствами всѣ земляныя, каменные и деревянные работы, работы ремесленниковъ, художниковъ и пр. своими матерьялами, а также устроить особое помѣщеніе для машинъ и котловъ, содержать техническій надзоръ, устроить газовое освѣщеніе, страхованіе зданій, до открытія репетицій и проч. все за 991,000 рублей, съ залогомъ въ 20 т. руб. и съ вычетомъ изъ послѣдней уплаты 29,730 рублей въ залогъ же на 2 года послѣ сдачи театра.

Въ случаѣ, если газовое освѣщеніе будетъ замѣнено другимъ, то изъ 991 т. рублей вычтется 36,490 рублей.

Срокъ окончательной сдачи театра съ тѣмъ, чтобы ремесленныя и декоративныя работы для украшенія внутри и снаружи зданія были окончены и съ 1-го августа можно начать репетиціи и въ день сдачи—дать представленіе, назначается 15 сентября 1887 года, а частные сроки для производства работъ слѣдующія:

а) для возведенія стѣнъ зданія включительно до высоты бель-этажа—1 октября 1885 г.;

б) для окончанія всего зданія вчернѣ съ покрытіемъ крышею 1 іюля 1886 года и

в) оштукатурка всѣхъ фасадовъ и внутри зданія стѣнъ и потолковъ съ уборкою лѣсовъ и мусора 1 іюня 1887 года.

Въ 1886 г. добавлено было: на устройство двухъстѣннаго желѣзнаго занавѣса 3,000 руб. и на улучшеніе водоснабженія тоже въ пожарномъ отношеніи 2,700 руб.; на заказанный въ Вѣнѣ художникамъ Лефлеру и Бургарту занавѣсъ для сцены, съ сюжетомъ изъ легенды Пушкина «Русланъ и Людмила» съ главною картиною свадебнаго пира и кругомъ прочихъ сценъ, въ золоченой рамѣ оригинальной причудливой формы съ изящными орнаментами въ 2,500 руб. нашли также необходимымъ добавить 500 рублей, а всего къ 991,000 руб. контрактной суммы прибавлено 6,200 руб., такъ что общая стоимость постройки возросла до 997,200 руб.

Въ виду того, что постановлено было все зданіе возвести изъ русскихъ матерьяловъ, субъ-коммисія разсмотрѣвъ образцы камня для колоннъ и балюстрадъ аккерманскаго николаевскаго не выше 1½ арш. и марсельскаго изъ южной Франціи, послала въ Вѣну къ г. Фельнеру. Фельнеръ призналъ николаевскій-аккерманскій вывѣтривающимся, а потому негоднымъ, а годнымъ марсельскій, который и употребленъ въ дѣло.

Въ 1885 году субъ-коммисія разрѣшила Фрею передать контрактъ Циффереру, тоже подрядчику строительныхъ работъ изъ Вѣны, рекомендованному, пріѣхавшимъ изъ Вѣны, архитекторомъ Фельверомъ.

Приступлено къ работамъ 3 апрѣля 1885 года.

Принято предложеніе г. Фельнера о замѣнѣ каменной плитной кладки выше цоколя кирпичною изъ одесскаго, такъ-называемаго «картаціевскаго» кирпича хорошаго качества; а на покрытіе крышъ и прочаго гальванизированное желѣзо замѣнить сибирскимъ Яковлевскимъ и Демидовскимъ, не менѣе 13½ фунта.

Въ измѣненіе проекта гг. Фельнеромъ и Гельмеромъ предложено и субъ-коммисіею принято: уширить и возвысить главный вестибюль, входъ видоизмѣнить двумя лѣстницами, служащими для соединенія ложъ, которыя и будутъ болѣе роскошно отдѣланы, а вестибюль украсить соответствующими мотивами, и уменьшить главный портикъ; выходящія въ фойе бель-этажа перегородки корридора къ ломамъ 1-го яруса замѣнить парпетными рѣшетками изящной отдѣлки и проч.; повѣренный Цифферера — архитекторъ Пиккозонъ согласился произвести означенныя измѣненія въ устройствѣ театра.

Рѣшено замѣнить устройство газоваго освѣщенія — электрическимъ; по смѣтѣ предполагалось устройство газоваго освѣщенія въ 36,490 руб.; разсчитывая, что ежегодно на эксплуатацію газа требуется расходъ въ 36,000 рублей; на устройство электрическаго освѣщенія требуется 150,000 руб., а эксплуатація его ежегодно должна обходиться въ 22,000 руб.; такимъ образомъ устройство электрическаго освѣщенія оказалось болѣе выгоднымъ, чѣмъ газово: отъ электрическаго освѣщенія получался ежегодный остатокъ въ 14,000 рублей, которымъ въ теченіи 8-ми лѣтъ покрывалась разница по устройству электрическаго освѣщенія и на самое устройство не потребовалось никакого расхода: фирма Ганцъ и К° согласилась принять на себя все устройство и получать въ теченіи 10-ти лѣтъ по 3% погашенія.

На отопленіе и вентиляцію ассигновано 41,600 р.

Циффереръ заявилъ, что имъ произведены сверхсѣтныя работы, что подтверждено архитекторами Фельнеромъ и Гельмеромъ, а также техниками субъ-комиссіи, наблюдавшими за производствомъ работъ: за уширеніе вытяжной трубы въ виду устройства электрическаго освѣщенія, за балюстрады въ ложахъ болѣе роскошныя, за страхованіе театра въ то время, когда помѣщенія были заняты антрепренеромъ и начались репетиціи, за увеличеніе деревянныхъ вытяжныхъ каналовъ, за замѣну кладки стѣнъ изъ плиты кладкою изъ кирпича, за фигуры на главной лѣстницѣ, за замѣну деревянныхъ аванъ-сценъ ложъ желѣзными и кирпичными, за возвышеніе пошлннъ по ввозу нѣкоторыхъ предметовъ, за дополнительную конструкцию для укрѣпленія задней арки и за увеличеніе размѣровъ зданія театра (собственно размѣры зданія уменьшились, а возвышена крыша) по заявленію всего на 43,753 руб. 81 к.). Комиссіа признала доплатить и дума утвердила выдать 26,973 руб. 26 к.; отдѣльно было ассигновано на декорации, мебель и бутафорскія вещи 25,000 руб. и добавлено 15 сентября 1887 г., еще 28,600 р. (Мебель, въ томъ числѣ 19 зеркалъ при входѣ въ ложи, партеръ и др. помѣщенія, столики, скамьи и проч. сдѣланы были мѣстнымъ фабрикантомъ Статкевичемъ).

Комиссіею произведены общіе расходы на:

1) Вознагражденіе за проектъ и производство постройки гг. Фельнеру и Гельмеру . . . . .	44,000 р. — к.
2) Содержаніе техника по надзору за постройкою и 4-хъ надсмотрщиковъ до окончанія работъ . . . . .	15,724 » — >
и 2) На подготовительныя занятія до постройки . . . . .	8,914 » 13 »
<b>Итого . . . . .</b>	<b>68,638 р. 13 к.</b>

За работы по устройству электрическаго освѣщенія строителю уплачено 2,194 руб. и за постановку освѣтительныхъ приборовъ 34,331 руб. 64 к.; приговоромъ думы добавлено было на улучшеніе въ эстетическомъ и пожарномъ отношеніяхъ 54,505 руб. 73 к.; такъ что строитель получилъ всего (вмѣсто слѣдующихъ по контракту 991 т. рублей, а за исключеніемъ устройства газоваго освѣщенія—954,510 руб.)—1.072,334 руб. 83 коп.

Еще предстоитъ уплата гг. Фельнеру и Гельмеру (5000 гульд. и нѣкоторые мелочные расходы) всего до 5,000 рублей.

**Проектъ норм. цѣнъ въ городск. театрѣ для опер. предст.**

Кресла: отъ оркестра до 1 прохода:	Проектнр.	Существ.
рядъ 1 . . . . .	16 м. 5 р. — к.	5 р. — к.
> 2 . . . . .	20 > 4 » — »	3 > — >
> 3, 4, 5 и 6 . . . . .	88 > 3 » — »	3 » а 6-й рядъ по 2 р. 50 к.
<b>Отъ 1 прохода:</b>		
рядъ 7 и 8 . . . . .	48 > 2 р. 50 к.	2 р. 50 >
> 9, 10 и 11 . . . . .	72 > 2 > 25 >	2 > — >
> 12, 13 и 14 . . . . .	68 > 1 > 75 >	1 > 50 >
<b>Отъ 2 прохода:</b>		
рядъ 15, 16, 17 и 18 . . . . .	84 > 1 > 50 >	1 > 25 >
> 19, 20, 21 и 22 . . . . .	70 > 1 > — >	1 > — >
<b>Ложи: бенуаръ на аванъ-сценѣ: мал.</b>	2	15 > — > 12 » — >
> > > > бол.	1	11 > — > 15 > — >
> бенуаръ остальныхъ . . . . .	12	18 > — > 10 > — >
> бельэтажа на аванъ-сценѣ . . . . .	2	20 > — > 20 » — >
> > > > номерован. на 5 м.	22	15 > — > 15 > — >
> > > > № 29	1	18 > — > 15 > — >
> 1 яруса на аванъ-сценѣ большихъ на 9 мѣсть № 29	3	15 > — > 12 > — >
> мал. на ав.-сц. о 7 м. . . . .	4	11 > — > 10 > — >
> номерованныхъ на 5 м. . . . .	22	9 > — > 8 > — >
> 2 яр. больш. о 9 м. на ав.-сц. . . . .	2	9 > — > 8 > — >
> мал. о 7 > > >	4	7 > — > 7 > — >
> остальныхъ номерован. . . . .	12	5 > — > 5 > — >
> 3 яруса большихъ о 9 м. . . . .	2	5 > — > 5 > — >
> малыхъ о 7 м. . . . .	4	4 > — > 4 > — >
<b>Амфитеатра: 1 и 2 ряда . . . . .</b>	<b>64</b>	<b>1 &gt; — &gt; 1 &gt; — &gt;</b>
> 3 и 4 > . . . . .	64	— > 75 > — > 75 >
> остальныхъ ряд. . . . .	125	— > 60 > — > 60 >

Галлерей: 1 и 2 ряда . . . . .	66	— р. 50 к.	— р. 50 к.
> 3 и 4 > . . . . .	64	— > 40 >	— > 40 >
> остальныхъ рядовъ . . . . .	99	— > 30 >	— > 30 >
> боковыхъ . . . . .	82	— > 20 >	— > 20 >
Съ кресломъ брантъ-маіора въ 8 ряду (2 р. 50 к.)			
<b>Итого . . . . . на 2299 р.</b>			<b>2154 р. 70 к.</b>

Разница на 145 р. на 1 вечеръ.

Число мѣсть 1468.

1888 г. № 87. На отопленіе и вентиляцію въ 1888 г. было ассигновано 4,500 руб., а потребовалось 7,825 руб. 6 коп., что и утверждено.

№ 94. 5,086 р. 60 к. въ уплату за воду со дня открытія по 1 января 1889 г.—въ гор. т. и на электр. ст.

**Цементныя сооруженія по системѣ Монье.**

Впервые началъ комбинировать желѣзо съ цементомъ Парижскій садовникъ Монье, заинтересованный изготовленіемъ большихъ цвѣточныхъ кадокъ, которыя были-бы долговѣчнѣе деревянныхъ и легче цементныхъ. Монье удалось достигнуть назначенной цѣли путемъ введенія въ цементныя стѣнки кадокъ проволоочной основы, послѣ чего онъ свой методъ приложилъ и къ построенію болѣе солидныхъ по размѣрамъ водяныхъ резервуаровъ.

Удачные результаты первыхъ опытовъ имѣли послѣдствіемъ то, что въ самое короткое время во Франціи было построено болѣе 1000 резервуаровъ и газометровъ по системѣ Монье, съ нею не замедлили познакомиться техники Франціи и значительно расширили сферу примѣненія системы Монье. Насколько эта сфера обширна, можно судить по патенту приобрѣтенному г. Вайсомъ для Германіи на право примѣненія системы Монье:

- 1) къ исполненію отдѣльныхъ частей зданій и даже цѣлыхъ зданій (напримѣръ лазаретныхъ бараконъ);
- 2) къ инженерному искусству, для устройства газо-и водопроводовъ, канализаціи и дренажа; колодцевъ, резервуаровъ, газометровъ, напорныхъ башенъ, мостовъ, шлюзовъ и проч.;
- 3) къ горному дѣлу;
- 4) къ кораблестроенію;
- 5) къ сельскому хозяйству и садоводству;
- 6) къ фабричнымъ ремесленнымъ производствамъ.

Однако, какъ ни прекрасны матеріалы, входяшіе въ составъ системы Монье, послѣдняя возбудила нѣсколько опасеній и сомнѣній въ смыслѣ рациональности:

Такимъ образомъ говорили, что:

- 1) Желѣзо можетъ ржавѣть отъ соприкосновенія съ цементнымъ растворомъ;
- 2) цементный растворъ не можетъ проявлять никакого сцѣпленія съ обыкновенно гладкими поверхности желѣза, а потому оба матеріала въ системѣ Монье не въ состояніи сопротивляться за-одно;
- 3) при измѣненіяхъ температуры движенія въ желѣзѣ и въ окружающемъ его цементѣ неодинаковы, отчего можетъ происходить разрушеніе системы.

Съ перваго взгляда можетъ показаться, что всё эти опасенія основательны; и въ дѣйствительности ихъ долго считали таковыми, пока двадцатилѣтній опытъ самаго изобрѣтателя, труды Вайсса и оффиціальныя испытанія въ Германіи окончательно не разсѣяли этихъ опасеній.

Обращаясь къ возможности окисленія желѣза въ цементной оболочкѣ, необходимо замѣтить, что эта возможность допущена единственно предположительно, на томъ основаніи, что желѣзо окисляется въ известковомъ и гипсовомъ растворахъ, въ которыхъ обнаружено присутствіе желѣзныхъ окисловъ. Явленіе это для послѣднихъ растворовъ объясняется избыткомъ въ нихъ воды и рыхлостью, вслѣдствіе которой вода легко всасывается изъ атмосферы послѣ отвердѣнія раствора. Достаточно самаго незначительнаго избытка воды, чтобы желѣзо начало окисляться и безъ прямого доступа воздуха, что доказывается несомнѣннымъ фактомъ присутствія, рядомъ съ водною окисью желѣза, амміака; полагаютъ, что въ моментъ выдѣленія водорода изъ состава воды (кислородъ идетъ на окисленіе желѣза) онъ соединяется съ азотомъ воздуха въ амміакъ, самое-же выдѣленіе водорода происходитъ отъ разло-

женія воды желѣзомъ, совершающагося крайне постепенно и медленно, но вполнѣ аналогично съ разложеніемъ водяныхъ паровъ при дѣйствіи ихъ на раскаленное до красна желѣзо.

Совсѣмъ иное бываетъ при заливкѣ желѣза цементомъ, къ которому прибавляется совершенно опредѣленное количество воды, потребное лишь для отвердѣванія раствора; не только на воздухѣ, но и подъ водою, цементъ въ короткое время такъ полно связываетъ химически воду, что погруженное въ него желѣзо, при неполномъ доступѣ воздуха и при обыкновенныхъ условияхъ температуры, не въ состояніи дойти до состоянія окисленія, т. е. извлечь изъ отвердѣвшаго цементнаго раствора воды ее на составныя части.

Эти соображенія можно было бы считать гипотетическими, если бы онѣ блистательно не оправдывались непосредственными опытами, произведенными надъ разными предметами, сдѣланными изъ желѣза и цемента по системѣ Монье.

По этой системѣ нѣсколько лѣтъ тому назадъ въ Амьенѣ устроена канализація. Въ трубахъ, какъ показало изслѣдованіе, желѣзные части сохранились совершенно чистыми, безъ всякихъ признаковъ ржавчины, какъ будто *они только* что прошли сквозъ валцы. Тоже самое обстоятельство официально констатировано протоколами опытовъ въ Бреславлѣ, причемъ послѣ разрушенія подвергнутыхъ опытамъ предметовъ, никогда на желѣзѣ не замѣчалось и признаковъ ржавчины; равнымъ образомъ не замѣчалось и уменьшенія поперечнаго сѣченія желѣза, какъ напримѣръ въ небольшихъ таеткахъ Монье, пролежавшихъ 4 мѣсяца въ водѣ.

Многочисленное подтвержденіе сказаннаго приводитъ и г. Вайссъ изъ опытовъ съ нагрузкою и даже съ тротуарными плитками, уложенными прямо на грунтѣ, и въ сильнѣйшіе морозы, и въ оттепель.

Вслѣдствіе вышеизложеннаго необходимо безъ всякихъ колебаній принять за доказанную истину, что *цементная оболочка вокругъ желѣза всегда устраняетъ самое скверное его свойство — способность окисляться отъ прикосновенія съ влажнымъ воздухомъ и имъ насыщенною водою*; тогда какъ различныя металлическія предохранительныя оболочки достигаютъ цѣли лишь на сравнительно короткое время.

Второе, самое высокое, опасеніе относилось къ возможности сдѣлания между желѣзомъ и цементомъ. Опасеніе основывалось на томъ, что оба матеріала при всѣхъ ихъ прекрасныхъ качествахъ въ отдѣльности, не въ состояніи сопротивляться усилямъ сообща. Поэтому казалось бы, напримѣръ, что плитка Монье, подвергнутая изгибающимъ усилямъ нагрузки, должна выдерживать меньшіе грузы, чѣмъ такой-же толщины простая цементная плитка безъ желѣза; — ибо всякое постороннее тѣло, не связывающееся съ цементомъ, неизбѣжно должно ослабить поперечное сѣченіе плитки.

Однако-же пробы на нагрузку, результаты которыхъ приведены ниже, показали, что при одной и той-же толщинѣ, при одинаковыхъ качествахъ цемента и при одномъ и томъ-же пролетѣ въ 1 метръ, — свободно лежащая пластинка изъ одного цементнаго раствора сломалась подъ равномерно распределеннымъ грузомъ въ 517,5 кил.; тогда какъ такая же плитка Монье сломалась при нагрузкѣ 2763,3 кил. на 1 кв. м., послѣ чего эта нагрузка еще осталась на желѣзномъ остовѣ плитки, давшей прогибъ въ 13 мм.

Опытъ со сводчатой плиткой, пролетомъ 4,5 м., со стрѣлкой въ 0,4 м. и толщиною въ 5 с. м. далъ для обыкновенной плитки разрушающій грузъ около 800 кило на кв. м., а для сводчатой плитки Монье 2109 кило на 1 кв. м. *односторонней* нагрузки.

Отсюда ясно слѣдуетъ, что надлежащимъ образомъ скомбинированные — желѣзо съ цементомъ сопротивляются заодно и сообща, что сдѣлание обихъ матеріаловъ весьма интенсивно; что идея Монье — соединить большое сопротивленіе раздавливанію цемента съ превосходною растяжимостью желѣза, помѣщая оба эти матеріала въ надлежащихъ мѣстахъ, для того, чтобы они дѣйствовали сообща, — не есть праздная идея увлекающагося изобрѣтателя.

Понятно, что обоюдное сопротивленіе матеріаловъ имѣетъ мѣсто лишь до тѣхъ поръ, пока существуетъ правильное отношеніе между соответствующими сопротивленіями каждаго изъ нихъ. За предѣломъ такого отношенія слѣдуетъ разрушеніе наиболее напряженнаго матеріала въ то время, какъ другое еще продолжаетъ сопротивляться; но для комбинаціи желѣза съ цементомъ предѣлъ этотъ, сверхъ ожиданія лежитъ очень высоко.

До какой степени тѣсна связь между желѣзомъ и цементомъ, можно видѣть изъ Бреславльскихъ опытовъ, гдѣ два раза не удалось извлечь 7 мм. проволоку изъ цементной балясины, просуществовавшей на воздухѣ 12 лѣтъ. Въ первый разъ изломался захватывавшій рычагъ подъ грузомъ въ 1050 кило: во второй разъ при натяженіи въ 1300 кило, отломился конецъ желѣзной проволоки, выходявшій изъ цементнаго тѣла балясины.

Нѣчто подобное произошло при производствѣ опытовъ на огнестойкость предметовъ, сдѣланныхъ по методѣ Монье, въ Берлинѣ въ 1886 году. Испытанный предметъ состоялъ изъ цементнаго кубика въ 20 С. М. въ боку, въ который вшучена была желѣзная проволока, толщиною 8 мм. Въ раскаленномъ состояніи изъ кубика стремились вытянуть проволоку и кончили тѣмъ, что захватывавшій рычагъ сначала самъ раскалился, изогнулся и наконецъ, сбавился. При этомъ напряженіе проволоки достигло 1200 кило; а самый опытъ показалъ, что сила сдѣлания между желѣзомъ и цементомъ не ослабѣваетъ даже при высокихъ температурахъ. Относительно неравномерности расширенія желѣза и цемента можно сказать лишь то, что ни испытанія на морозѣ, ни въ огнѣ, не обнаружили такихъ явленій, которые бы указывали на разрушеніе предметовъ, сдѣланныхъ по системѣ Монье. Даже отъ непосредственнаго дѣйствія жара цементное тѣло не разрушается расширяющеюся желѣзною пластинкою въ него задѣланною. По изслѣдованіямъ Бунисо (Buniceau), сообщеннымъ въ „Annales des ponts et chaussées 1863“, 1 Sem S 181, надъ расширеніемъ гранита, мрамора, песчаника, цементнаго раствора и др.; оказывается, что коэффициенты расширенія бетона изъ поргандь цемента, при 1° разницы температуръ, есть цифра отъ 0,0000137 до 0,0000148. Для желѣзной проволоки тотъ же коэффициентъ равенъ 0,0000145; изъ чего слѣдуетъ, что расширеніе цементнаго бетона и желѣза одинаковы. Между прочимъ, результаты изслѣдованій Бунисо подтверждались и Бреславльскими опытами, какъ это видно будетъ изъ нижеизложеннаго.

*Преимущества* желѣзно-цементной конструкціи заключаются въ слѣдующемъ:

1) *Долговѣчность*; объясняется она отличнымъ сопротивленіемъ выветриванію, водо — и огнестойкостью. Такъ какъ цементъ съ теченіемъ времени не только ничего не теряетъ, а, напротивъ, увеличиваетъ способность сопротивленія; желѣзо-же заключенное въ цементную оболочку и ею предохраненное, не обнаруживаетъ свойственныхъ ему дурныхъ качествъ въ водѣ и въ огнѣ, то безъ всякаго преувеличенія можно назвать конструкцію Монье неизмѣнимою и, при заботливомъ исполненіи, монументальною.

2) *Огромная прочность при незначительномъ собственномъ вѣсѣ*, въ силу которой отношеніе мертваго груза постройки къ полезной нагрузкѣ въ системѣ Монье является самымъ выгоднымъ по сравненію съ такими же отношеніемъ въ массивныхъ каменныхъ постройкахъ. Независимо отъ этого, въ наше время констатировано, что въ пожарномъ отношеніи желѣзо, не предохраненное отъ непосредственнаго дѣйствія огня не можетъ считаться матеріаломъ огнестойкимъ и это качество сообщается желѣзу только заключеніемъ его въ цементную оболочку; причемъ желѣзно цементная комбинація оказывается несравненно болѣе прочною, чѣмъ обыкновенная бетонная, напримѣръ въ сводахъ, какъ то удостовѣрено протоколами Бреславльскихъ опытовъ надъ разрушеніемъ цементныхъ частей ударами. Наконецъ, система Монье безусловно выгодна въ крѣпостныхъ постройкахъ, а также въ мѣстностяхъ подверженныхъ землетрясеніямъ.

3) *Сбереженіе мѣста*, происходящее отъ незначительной высоты покрытій Монье, отъ ограниченной толщины стѣнъ; вслѣдствіе чего уменьшаются всѣ размѣры строеній, и уменьшеніе это влечетъ на ихъ стоимость въ смыслѣ сбереженія расходовъ.

4) *Сбереженіе на опорахъ и въ желѣзныхъ скруткахъ*. Это преимущество объясняется тѣмъ, что покрытія Монье даже сводчатые не производятъ боковаго распора, ибо желѣзный каркасъ, заключенный въ цементный растворъ быстро обращается въ монолитъ и функционируетъ какъ балка. Прямое послѣдствіе этого — уменьшеніе толщины опоръ сравнительно съ толщиною опоръ каменныхъ и даже бетонныхъ сводовъ.

5) *Быстрота выполненія работъ безъ ущерба или прочности*. При обыкновенномъ воздушномъ растворѣ кладка твердѣетъ очень медленно вслѣдствіе медленности прониканія углекислоты воздуха въ массу раствора: разкруживаніе сводовъ требуетъ большой осторожности, а несвоевременная штукатурка стѣнъ можетъ въ концѣ испортить зданіе. Къ этому надо прибавить, что при медленности работы, прерываемой еще зимнимъ періодомъ, затрачиваемый на постройку капиталъ остается долгое время безъ процентовъ; вотъ почему расчетливые строители болѣе охотно прибѣгаютъ къ цементу, не взирая на его большую стоимость по сравненію съ известью. Известно, что чрезъ 4—5 дней растворъ изъ хорошаго поргандь цемента совсѣмъ не боится мороза и что цементная работа, исполненная въ холодное время, гораздо лучше и прочнѣе, чѣмъ исполненная лѣтомъ; объясняется это тѣмъ, что въ холодное время вода, потребная для правильнаго процесса твердѣнія цемента не испаряется столь быстро, какъ лѣтомъ. Вслѣдствіе же незначительной толщины отдѣльныхъ частей, исполняемыхъ по системѣ Монье,



Въ заключеніе опытовъ на плитку былъ брошенъ грузъ въ 20 кило съ высоты 1,70 м. Плитка дала значительный прогибъ и массу трещинъ, но не разрушилась.

Самая труба, служившая печью, подверглась температурѣ до 1000° С. (латунная штанга расплавилась) и послѣ двухчасовой топки претерпѣла самыя ничтожныя поврежденія. Такимъ образомъ, еще до начала топки приспособленная къ наружной поверхности трубы мѣрка длиною въ 1 м. дала удлиненіе 7,5 мм. Стѣнки трубы получили тонкія трещинки и большіяхъ поврежденій не послѣдовало, ни во время топки, ни послѣ охлажденія, такъ что безъ всякой опасности возможно было повторить опытъ. Необходимо замѣтить, что снаружи цементная оболочка трубы нисколько не откалывалась, но внутри она сплавилась, что указываетъ на развитіе температуры, значительно превышавшей 1000° С.

#### Сдѣлание желѣза съ цементомъ.

При испытаніяхъ на огнестойкость выяснилось также, что, не смотря на обыкновенный жаръ, которому подвергались плитки, никогда не наблюдалось разъединенія цементной оболочки и желѣзнаго влеченія. Это обстоятельство главнымъ образомъ и укрѣпляетъ то предположеніе, которое легло въ основу системы Монье, т. е. что сдѣлание между цементомъ и желѣзнымъ влеченіемъ въ высшей степени интенсивно.

Чтобы сдѣлать еще болѣе убѣдительнымъ сказанное положеніе, предпринять былъ опытъ: изъ цементной балаяси вытащить стержень (желѣзный) толщиной въ 7 мм.

Испытуемая балаясиа лѣтъ около 12 находилась на воздухѣ, подъ влияніемъ всевозможныхъ атмосферныхъ перемѣнъ. Чтобы вытащить изъ балаясины свободно заложенный въ нее стержень при мѣнили рычагъ съ отношеніемъ длины плечъ = 1 : 5, и нагрузили его вѣсомъ въ 1350 кило.

Отъ дальнѣйшей нагрузки рычагъ изогнулся, стержень удалось освободить только послѣ полного раздробленія цементной оболочки; при этомъ поверхность стержня, которая была закрыта цементомъ, не показала и слѣдовъ ржавчины, или уменьшенія поперечнаго сѣченія.

Чтобы убѣдиться другимъ путемъ, что желѣзо въ цементной оболочкѣ не подвергается окисленію, небольшія плитки Монье кляли въ воду на 4 мѣсяца и затѣмъ разрушали. И при этомъ на желѣзномъ влеченіи нигдѣ не было замѣчено признаковъ ржавчины.

#### Разрушеніе ударами.

Грузъ въ 20 кило былъ брошенъ съ высоты 1,70 м. на плитку Монье, свободно положенную на двѣ опоры, съ пролетомъ въ 0,80 м. Толщина плитки — 5 сантим. При первыхъ двухъ ударахъ грузъ отскакивалъ вверхъ отъ плитки и замѣчены были только небольшія углубленія, произведенныя острыми кромками надавшего груза. Послѣ третьяго удара на нижней поверхности плитки образовалась раковиновидная трещина около 15 с. м. въ квадратѣ, тогда какъ на верху ничего подобнаго еще не замѣчено. Лишь послѣ четвертаго удара, попавшаго въ предыдущее мѣсто, раковина, толщиной до 2 с. м., откололась, а сверху образовалось отверстіе шириною 3 и длиною 7 с. м. Всѣ остальные части плитки, равно какъ и внутри отверстія находившееся желѣзное влеченіе, оказались совершенно цѣлыми. Оболочка испытанной плитки сдѣлана была изъ раствора цемента съ пескомъ въ пропорціи 1 : 3; если-бы имѣлось въ виду дать плиткѣ большую силу сопротивленія ударамъ, то слѣдовало увеличить въ растворѣ содержаніе цемента.

Таковы результаты испытаній въ Бреславлѣ. Они официально констатированы протоколомъ, подъ которымъ подписалось 20 лицъ, по преимуществу архитекторовъ (въ числѣ ихъ одинъ брендмейстеръ — Herzog).

Этого, разумѣется, достаточно, чтобы съ довѣріемъ отнестись къ опытамъ надъ системою Монье и, взявъ за исходный пунктъ полученные результаты, предпринять рядъ испытаній у себя дома. надъ комбинаціей желѣза съ собственными цементами и, въ частности для Кавказа, съ цементомъ Новороссійскимъ, который, если производителей не избалууетъ судьба, обѣщаетъ качествомъ превзойти многіе иностранные цементы.

„Зап. Кавк. Отд. Т. О.“