

А. А. ПОЛЪЩУКЪ,

преподаватель Высшаго Художественнаго училища при Императорской
Академии Художествъ.

КУРСЪ
СТРОИТЕЛЬНАГО ИСКУССТВА

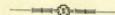
ВЪ СВЯЗИ СЪ РАЗСЧЕТАМИ
УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОЧНОСТИ ЧАСТЕЙ СООРУЖЕНИЙ,
ВЪ ДЕСЯТИ ЧАСТЬЯХЪ.

ЧАСТЬ IV-я.

КАМЕННЫЕ СТѢНЫ И СВОДЫ.

I. КАМЕННЫЕ СТѢНЫ И СТОЛБЫ. II. АРКИ И ПАРУСА.
III. СВОДЫ.

Съ 324 рисунками въ текстѣ.



С.-ПЕТЕРВУРГЪ.
Паровая Скоропечатня П. О. Яблонского. Лештуковъ, № 13.
1903.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Отдѣлъ I-й. Каменные стѣны и столбы.

I. Цоколь.

	СТР.
Понятіе о цоколѣ и его назначеніе	1
О кладкѣ цоколя вообще	3
Квадровая кладка цоколя изъ плиты.....	4
Квадровая кладка цоколя изъ массивныхъ камней	7
Кордонная кладка цоколя	9
Оконные и дверные отверстія въ цоколѣ	10

II. Стѣны.

О стѣнахъ вообще и каменныхъ въ частности	14
Кладка кирпичныхъ стѣнъ подъ штукатурку.....	16
Кирпичная стѣна съ кирпичной же облицовкой.....	18
Кирпичная стѣна съ каменной квадровой облицовкой.....	20
Кирпичная стѣна съ кордонной облицовкой изъ плитокъ и изразцовъ	23
Прочность каменныхъ стѣнъ	24
Толщина каменныхъ стѣнъ	26
Устойчивость каменныхъ свободно стоящихъ стѣнъ	27
О контрафорсахъ	29
Устойчивость и прочность стѣнъ жилыхъ домовъ	30

III. Устои.

Общее понятіе объ устояхъ и раздѣленіе ихъ.....	32
Равновѣсие простыхъ (монолитныхъ) опоръ	33
Простые опоры съ горизонтальными швами	35
Простые опоры съ горизонтальными и вертикальными швами	38
Прочность простыхъ опоръ	39
Устойчивость простыхъ опоръ со сложной нагрузкой	41
Устойчивость и прочность двойныхъ опоръ	45
О желѣзныхъ связяхъ. Рассчетъ ихъ	48
Укладка связей	51
Устойчивость и прочность сложныхъ опоръ	54
Контафорсы съ арками	55

IV. Карнизы и пояски.

О карнизахъ вообще	57
Простые карнизы и пояски	58
Висячие карнизы	60
Сложные карнизы	66
Расчетъ карнизовъ	68
Деревянные и металлические карнизы въ каменныхъ домахъ	70
Обылка оконныхъ и дверныхъ отверстий. Сандрики и наличники.....	71

Отдѣлъ II-й. Арки и паруса.**I. Арки.**

Оъ аркахъ вообще. Перемычки	74
Направляющія кривая арокъ	76
О кружахахъ вообще	82
Устройство кружащихъ и установка ихъ	85
Раскруживаніе	92
О материалахъ для кладки арокъ	94
Устройство пяты	96
Кладка арокъ и перемычекъ изъ кирпича	101
Кладка арокъ изъ естественного камня	107
Кладка арокъ изъ тесанного камня	110
Обратные арки	113
Расчетъ нагруженной стрѣльчатой арки	114
Расчетъ ненагруженной полукруглой арки и пологихъ арокъ вообще	115
Расчетъ несимметричныхъ арокъ	117
Толщина перемычекъ	119

II. Паруса.

О парусахъ вообще	122
Расчетъ и кладка перемычечного паруса	124
Расчетъ и кладка кронштейнного паруса	126
Проектирование сферического паруса	127
Кладка сферического паруса	130
Определение объема и поверхности сферического паруса. Центръ тяжести паруса	132
Расчетъ и толщина сферического паруса	135
Проектирование и кладка конического паруса	139
Диаграмма нагрузокъ отъ парусовъ на стѣны и арки	140
Сводные кольца	148
Перекрещивающіяся арки	152

Отдѣлъ III-й. Своды.**I. Коробчатые своды.**

О коробчатыхъ сводахъ вообще	156
Толщина коробчатыхъ сводовъ	158
Проектирование коробчатыхъ сводовъ	162
Кладка коробчатыхъ сводовъ изъ кирпича	165
Кладка коробчатыхъ сводовъ изъ естественного и тесанного камня	169
Ползучіе и косые коробчатые своды	170
Расчетъ коробчатыхъ сводовъ	171

II. Прусскіе своды.

Проектирование прусскихъ сводовъ	173
Толщина свода и опоры	175
Кладка прусскихъ сводовъ	176
Расчетъ прусскихъ сводовъ	181

III. Крестовые своды.

Виды крестовыхъ сводовъ	182
Проектирование и кладка крестовыхъ сводовъ	185
Расчетъ крестовыхъ сводовъ безъ гуртовъ	192
Расчетъ крестовыхъ сводовъ съ гуртами	200

IV. Купольные своды.

Проектирование купольныхъ сводовъ	202
Кладка купольныхъ сводовъ	207
Расчетъ купольныхъ сводовъ	209
Расчетъ связей купольного свода	217

V. Сомкнутые своды.

Проектирование и кладка сомкнутыхъ сводовъ	220
Расчетъ сомкнутыхъ сводовъ	224

VI. Парусные своды.

Проектирование парусныхъ сводовъ	227
Расчетъ парусныхъ сводовъ	232

VII. Бочарные своды.

Проектирование бочарныхъ сводовъ	233
Расчетъ бочарныхъ сводовъ	236

VIII. Звездчатые своды и симметричные вообще.

Звездчатые своды.....	238
Симметричные своды.....	241
Внешние своды.....	242
Лотковые своды.....	244
Зеркальные своды.....	—
О материалах для кладки сводовъ.....	245
Шпили и башни.....	248
Исторический очеркъ развитія сводчатыхъ перекрытий.....	252
Расчетъ устойчивости и прочности цѣлаго сооруженія.....	258
Арки и своды специального назначенія.....	293

ЧАСТЬ IV.

КАМЕННЫЕ СТЕНЫ И СВОДЫ.

Отдѣлъ I.

Каменные стѣны и столбы.

I. Цоколь.

1. Понятие о цоколѣ и его назначение.

На рис. 1 представленъ разрѣзъ стѣны обыкновенного двухъэтажнаго зданія. Нижняя часть ея (*B*), лежащая въ землѣ, называется фундаментомъ; стѣнная (*C*) — цоколемъ; затѣмъ, идеть собственно стѣна (*D*) и, наконецъ, карнизъ (*E*).

О фундаментѣ было сказано въ III-ей части; теперь разсмотримъ устройство цоколя.

Назначеніе цоколя въ каждой постройкѣ двоякое: эстетическое и конструктивное. Чтобы цоколь удовлетворялъ первому изъ этихъ назначений, онъ долженъ гармонировать съ остальными частями сооруженія.

Определеніе этой гармоніи не поддается научному изслѣдованию, а можетъ быть воспринято, какъ и всякая гармонія, только чувствомъ. Такъ какъ изъ видимыхъ частей сооруженія цоколь занимаетъ самое нижнее мѣсто, то его слѣдуетъ класть изъ крупныхъ камней, чтобы онъ производилъ впечатліе солиднаго, прочного, способнаго выдержать тяжесть вышележащихъ стѣнъ. По эстетическому же требованію

пріятно, если цоколь будеть другого даже цвета, чѣмъ стѣна, напр. бѣловато-сераго, близаго къ цвету твердыхъ породъ камней, но не чернаго, напоминающаго, напримѣръ, уголь.

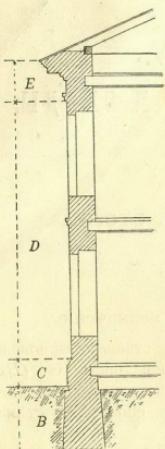


Рис. 1. Разрѣзъ стѣны двухэтажного зданія. (B) фундаментъ; (C) подвалъ; (D) сдѣланіе стѣны; (E) карнизъ.

Высота цоколя съ эстетической стороны опредѣляется въ зависимости отъ высоты остальныхъ частей, ибо если цоколь высокъ, а карнизъ малъ, то получимъ то же впечатлѣніе, какъ при видѣ человѣка съ длинными ногами и малой

головой. Обыкновенно высота цоколя занимаетъ $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ высоты зданія.

Конструктивное назначеніе цоколя заключается въ томъ, чтобы предохранить зданіе отъ тѣхъ невзгодъ, ударовъ, толчковъ, брызгъ и капель воды, какими онъ подверженъ въ виду своего положенія у поверхности земли; къ этимъ невзгодамъ присоединяется еще грузъ отъ верхнихъ частей сооружения и всѣ онѣ, вмѣстѣ взятаго, стремятся разрушить цоколь предпочтительнѣо предъ другими частями стѣны. Слѣдовательно, цоколь

долженъ быть слѣдѣль изъ болѣе твердыхъ породъ камней, быть болѣе толстымъ сравнительно со стѣнами и имѣть высоту не менѣе одного аршина; материалъ цоколя не долженъ легко вывѣтываться или разрушаться отъ дѣйствія механическихъ силъ.

Кладка цоколя у насъ въ большинствѣ случаевъ бываетъ или изъ плиты (известника) или изъ гранита. Прочное сопротивленіе плиты въ массѣ гораздо болѣе, чѣмъ кладки изъ плиты на известковомъ растворѣ, а именно, относится къ послѣднему, какъ 5:2. Причина этого заключается въ неровности плиты и въ передачѣ давленія только на нѣкоторыя точки. То же слѣдуетъ сказать и о другихъ каменныхъ материалахъ, почему всегда на это обращается должное внимание.

2. О кладкѣ цоколя вообще.

Кладку цоколя можно раздѣлить на два рода: 1) на кладку горизонтальными рядами или квадровую и 2) на кладку вертикальными плитами или облицовочную (рис. 2), называемую корондною. При всякомъ цоколѣ соблюдаются слѣдующія правила: верхняя грань цоколя должна быть всегда горизонтальной, нижняя же будетъ горизонтальной только при площадяхъ и улицахъ съ горизонтальной поверхностью; на покатыхъ улицахъ этого достигнуть нельзя и потому нижняя грань будетъ наклонной линией или линией ломаной; въ рѣдкихъ случаяхъ встрѣчаемъ и верхнюю грань цоколя въ видѣ уступовъ, хотя лучше уступовъ не дѣлать.

Часто цоколь вовсе не облицовывается камнемъ, а кладется, какъ и стѣна, изъ кирпича, покрывается шту-

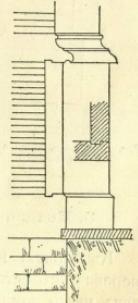


Рис. 2. Разрѣзъ коронднаго цоколя съ одной плитой по высотѣ.

катуркой и окрашивается въ какой нибудь подходящий цветъ (рис. 3).

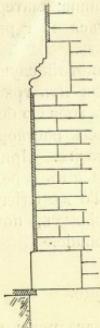


Рис. 3. Цоколь кирпичный, покрытый штукатуркой.

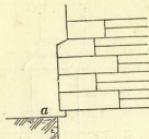


Рис. 4. Разрѣз цоколя изъ плиты; выдра а.

3. Квадровая кладка цоколя изъ плиты.

Квадровую кладку цоколя необходимо вести въ перевязь съ остальной частью или забуткой. Но такъ необходимо общую перевязь дѣлать хотя бы черезъ не сколько рядовъ.

Верхняя грань цоколя должна выступать наружу противъ стѣны и быть по профилю скосенной для удобнаго стока воды (рис. 4). Нижняя часть цоколя должна быть такъ устроена, чтобы часть тротуара могла заходить подъ цоколь. Дѣлаемый для этой цѣли подзоръ (а) называется выдрой. Выдра всегда обязательна, и высота ея зависитъ обыкновенно отъ толщины камня, изъ которого сложенъ фундаментъ; такъ при кирпичѣ выдра бываетъ высотою $1\frac{1}{2}$ вершковъ; при естественныхъ камняхъ отъ 2 вершковъ и больше. Для прочности нужно, чтобы выдра была кованная, иначе могутъ ость щели, куда будетъ попадать вода.

Все это имѣть значеніе главнымъ образомъ тогда, когда тротуарь будетъ асфальтовый, бетонный или изъ плитъ; при булыжныхъ откосахъ выдра не играетъ никакой роли.

Квадровые камни обтесываются или съ 5-ти сторонъ, или со всѣхъ 6-ти. Верхняя и нижняя поверхность называются постелями, передняя грань лицомъ (рис. 5), боковая грани заусенками, а задняя часть хвостомъ.

Наши цоколи почти всегда обтесаны съ 5-ти граней. Въ кладкѣ цоколя изъ гранита и плиты большая разница. Чѣмъ плита мельче, тѣмъ болѣе кладка приближается къ кирпичной, а слѣдовательно, тѣмъ необходимо становиться присутствіе раствора, тогда какъ при крупныхъ камняхъ растворъ въ горизонтальныхъ швахъ вовсе не кладется.

Разсмотримъ сперва кладку цоколя изъ плиты на растворѣ.

Плита, идущая на цоколь, не должна быть очень тонкой. Она бываетъ въ чистотѣ т. е. въ обтескѣ не менѣе $3\frac{1}{4}$ вершковъ. Обыкновенно $3\frac{1}{2}$ —4 вер. При этомъ необходимо, чтобы камень былъ почти одинакового цѣста.

Лучшей считается въ Петербургѣ цоколь изъ Путинской плиты. По цѣту ее раздѣляютъ на красную и сѣрую. Послѣдняя прочнѣе, но дороже.

При этомъ необходимо, чтобы камень былъ не ноздреватый; если существуютъ ноздри, то ихъ задѣлываютъ цементомъ, а иногда даже окрашиваютъ весь цоколь масляной краской.

На постройку цокольная плита привозится въ грубо вилѣ, и уже на мѣстѣ лицо обтесывается и привариваются начисто постели и заусенки. Эта приправка всегда является необходимой, такъ какъ требуется, чтобы швы вертикальные (стыковые) не совпадали въ двухъ смежныхъ рядахъ.

Такъ какъ цоколь выступаетъ противъ стѣнъ, то постели камней должны быть значительной длины вглубь

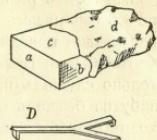


Рис. 5. Общий видъ плиты, тесанной для цоколя: а) лицо камня; б) подошва; в) заусенцы; д) щипцы для транспортировки скоба для скрѣзыванія угловыхъ камней (ѣхъ пламѣ).

стѣны, по крайней мѣрѣ не менѣе, какъ вдвое противъ выступа; забутка за цоколемъ дѣлается одновременно для каждого ряда, причемъ хвосты цокольныхъ камней должны быть разной длины, чтобы въ двухъ смежныхъ по высотѣ рядахъ получилась перевязь швовъ. Растворъ для кладки цоколя нужно брать по возможности цементный (или гидравлический), чтобы цоколь дѣйствительно служилъ предохраненіемъ отъ сырости. Часто забутка бываетъ изъ кирпича. Въ такомъ случаѣ необходимо, чтобы послѣдній былъ желѣзникомъ или полу-желѣзникомъ и чтобы толщина цокольной плиты отвѣчала двумъ рядамъ кирпича т. е. была бы въ $3\frac{1}{2}$ вершка, или въ 3 ряда кирпича т. е. въ $5\frac{1}{4}-5\frac{1}{2}$ вершковъ. Вообще если кладка будетъ на хорошемъ цементномъ растворѣ, хвосты достаточной длины и при томъ не одинаковые въ двухъ смежныхъ рядахъ, забутка сдѣлана въ перевязь, то никакихъ желѣзныхъ соединительныхъ частей не нужно. Исключение составляютъ угловые камни, которые лучше связывать съ забуткой посредствомъ скобъ или, такъ называемыхъ, анкеровъ (якорей) (рис. 6), особенно, если цокольная плита довольно толстая, напр., въ 4 и болѣе вершковъ. Анкеры, какъ и скоба, дѣлаются изъ полосового же-лѣза, причемъ концы загнуты книзу. Это необходимо дѣлать особенно тогда, когда конецъ не приходится противъ шва верхняго ряда.

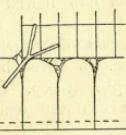


Рис. 6. Планъ кладки цоколя на углу здания.

Самая кладка цокольныхъ камней изъ плиты производится, какъ кладка кирпичная, въ перевязь; растворъ кладется на нижележащий камень въ достаточно-номъ количествѣ и достаточно мягкий, дабы при давленіи на него камня, часть выдавилась и могла быть собрана лопаткой и употреблена на другой рядъ.



Рис. 7. Профиль верх-
него пояса покоя.

Лицо цокольныхъ камней промывается затѣмъ водой. Форма сливовъ въ цоколѣ зависитъ отъ композиціи, причемъ сливъ нѣсколько (на $\frac{1}{2}$ вершка) отступаетъ отъ стѣны, въ случаѣ, если послѣднія будетъ ошту-катурена (рис. 7).

Часто за неудобствомъ доставки на мѣсто плиты кладутъ цоколь изъ кирпича желѣзника или полу-желѣзника и при томъ на цементномъ растворѣ, а затѣмъ эту кирпичную покрываютъ цементной штукатуркой. Нельзя однако считать шту-катурку rationalной, такъ какъ она въ сыротѣ состояніи легко от-бивается и отъ дѣйствія мороза отпадаетъ. Что касается кладки, то она одинакова съ кладкой стѣнъ изъ кирпича, а для приданія вида естественного камня цоколь выносятъ нѣсколько про-тивъ стѣны (рис. 8).

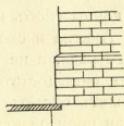


Рис. 8. Фасадъ кирпич-
ного покоя, высту-
щающаго противъ стѣны.

4. Квадровая кладка цоколя изъ массивныхъ камней.

Сюда прежде всего относится цоколь изъ гранита. Гранитъ обрабатывается въ видѣ длинныхъ призмъ до 1 сажени длины и около 12 вершковъ высоты и не меньше 6 вершковъ ширины. Обтеска бываетъ обыкновенно только съ лица, заусенковъ и постелей. Растворъ въ виду значительныхъ размѣровъ камней никакого значенія имѣть не можетъ. Поэтому камни кладутъ насухо; только въ наружныхъ кромкахъ (у постелей), дабы послѣднія не обламывались, прокладываются свинцовыя ленты.

Свинецъ материалъ мягкий, легко заполняетъ отъ тяжести камня небольшія углубленія на поверхности его, отчего камень будетъ очень плотно лежать на мѣстѣ и вода въ шовѣ не попадетъ. Очевидно, если

одинъ кусокъ выступаетъ противъ другого, то значеніе свинца нѣсколько умаляется. Чтобы камни держались въ связи съ остальной кладкой, употребляютъ пироны, скобы и анкера.

Пироны представляютъ собою желѣзные цилинды или призмы до 5" длины и отъ 1 до 3 дюймовъ въ диаметрѣ. Для того, чтобы пиронъ крѣпко сидѣлъ въ камнѣ, нижний конецъ его заливается свинцомъ, какъ и концы скобъ или анкеровъ.

Анкера и скобы закладываются только сверхъ каждого ряда, а не сверху и снизу камня въ виду того, что они достаточно удерживаютъ камень, и камень можетъ отстать отъ стѣны только въ томъ случаѣ, если произойдетъ вращеніе, чего не бываетъ въ случаѣ нагрузки сверху. Но если на поколѣ имѣется большой уступъ, то необходимо или класть камень значительныхъ размѣровъ въ глубину стѣны, или связать камень со стѣной въ горизонтальномъ направлениі. Въ этомъ случаѣ верхній камень связывается анкеромъ, какъ это показано на рис. 9.

Только въ то время, когда будетъ производиться забутка, заливаютъ швы между кусками гранита (вертикальные и горизонтальные) жидкимъ цементомъ такъ, чтобы онъ проходилъ во всѣ мельчайшіе промежутки и крѣпко связывалъ хвосты камней съ остальной кладкой.

На мѣсто постройки гранитъ привозится въ кускахъ необходимыхъ размѣровъ безъ всякой обтески, которая вся, сначала до конца, производится на мѣстѣ. Для тески употребляются инструменты возможно хорошіе изъ лучшей стали, описанные нами выше во II-ой части.

Кромѣ гранита на покольную кладку можетъ идти базальтъ, песчаникъ, массивный известникъ и др. ка-

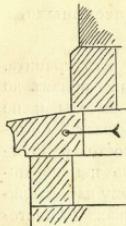


Рис. 9. Закрѣпление камней верхнего ряда при большомъ выносѣ.

менные породы. Кладка цоколя изъ всѣхъ этихъ камней тождественна съ таковой для гранита.

5. Кордонная кладка цоколя.

Второй способъ кладки цоколя есть облицовочный или кордонный. Онъ отличается тѣмъ, что не идетъ въ перевязь съ забуткой и не отвѣчаетъ рядамъ кирпичной кладки; при кордонномъ цоколѣ мы обыкновенную забутку какъ бы закрываемъ плитой, ставя послѣднюю на ребро.

Простейший способъ кладки кордоннаго цоколя (въ старыхъ домахъ) заключался въ томъ, что въ швы поставленныхъ рядомъ на ребро плитъ забивали желѣзные гвозди, придерживавши ихъ и связывавши съ забуткой (рис. 10).

Такое укрѣпленіе цокольныхъ плитъ страдаетъ тѣмъ, что желѣзо, выходя наружу, ржавѣетъ, увеличивается въ объёмѣ и вытѣзаѣтъ изъ забутки; потомъ вода проникаетъ между плитой и забуткой и распирая камни, нарушаетъ связь между ними.

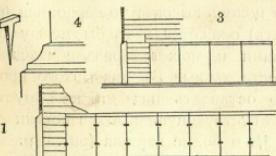


Рис. 10. Кордонные облицовки простынного вида: 1) фасадъ и угол облицовки покоятъ плитами, удерживаемыми гвоздями; 2) видъ гвоздя; 3) откладка покоятъ плитами и однимъ покосомъ; 4) деталь штукатурного сандыка.

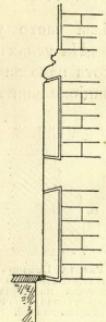


Рис. 11. Коронная облицовка здѣма рядами плитъ и поясомъ.

Чтобы это устранить, закладываютъ въ кладку камни (кордона), захватывающіе плиту, какъ показано на рисункѣ.

Этотъ способъ нѣсколько лучше, хотя надо сказать, что и здѣсь вода попадаетъ въ нижній шовъ.

Когда цоколь высокъ, то дѣлаютъ два ряда кордонныхъ захватывающихъ камней (рис. 11).

Въ практикѣ очень часто бываетъ, что верхній захватывающій камень обрабатывается въ видѣ карниза;

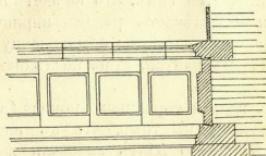


Рис. 12. Украшениіе въ пологъ въ видѣ рустова.

средняя часть, называемая стуломъ (вертикально стоящая плита) обрабатывается рустикомъ, причемъ вертикальные швы какъ бы очерчиваются форму руста (рис. 12); нижняя часть цоколя или

база часто упирается на выдру.

На углахъ цокольные плиты дѣлаются въ шпунтъ, хотя надо замѣтить, что теска въ шпунтъ вообще не рациональна въ каменныхъ конструкціяхъ.

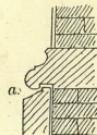


Рис. 13. Прозоръ (a) между кордонными камнями на случай осадки забутовочныхъ камней.

Такъ какъ кирпичная кладка при известковомъ растворѣ сжимается на каждую сажень около $\frac{1}{2}$ вершка, и, если цоколь высокъ, то кордонная плита (стуль) окажется какъ бы между двумя тисками и можетъ раздробиться отъ тяжести стѣны. Въ виду этого необходимо оставлять надъ плитой пустоту, соотвѣтствующую высотѣ осадки т. е. отъ $\frac{1}{2}$ и болѣе вершка (рис. 13).

6. Оконныи и дверныи отверстія въ цоколѣ.

Когда въ цоколь помѣщаются оконныи и дверныи отверстія, то послѣднія перекрываются различно. Въ то время, какъ забутка перекрывается перемычкой, въ цоколѣ, смотря по размѣрамъ отверстія, перекрытие

дѣлается слѣдующимъ образомъ: если оно не велико, перекрываютъ обыкновенной цокольной плитой плашмя, а если больше, то плитой на ребро. Чтобы плита не треснула, дѣлаютъ надъ нею разгрузную арочку, передающую грузъ стѣны на бока отверстія (рис. 14).

Подоконная пли-
та должна быть со
сливомъ для устра-
ненія застоеіи воды.

Она очень часто
трескается по сре-
динѣ. Причина тому
та, что часть кладки
по бокамъ отверстія
сжимается отъ тя-
жести стѣны, тогда
какъ подъ отверсті-
емъ она остается прежней, а потому концы камня
опускаются и камень, будучи не въ силахъ сжать ле-
жащий подъ нимъ слой кладки, выпирается наружу.

Для избѣженія этого подъ нижнимъ камнемъ отверстія
дѣлается зазоръ, который заполняется по окончаніи
осадки (рис. 15).

Такое же явленіе происходитъ
при дверныхъ отверстіяхъ; здѣсь
обыкновенно трескается ступень,
лежащая въ дверяхъ. Поэтому и
здесь зазоръ необходимъ, при-
чемъ заполнять его слѣдуетъ
только черезъ нѣсколько лѣтъ,
такъ какъ осадка зданія обыкно-
венно продолжается 2—3 года

Рис. 15. Перекрытие отверстій
плитой на ребро съ прозоромъ
(b) ниже подоконнаго камня.

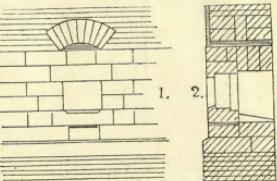
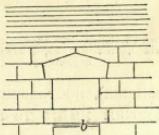


Рис. 14. Перекрытие оконныхъ отверстій въ цо-
колѣ плитой плашмя: 1) фасадъ; 2) разрѣзъ.



Когда мы имѣемъ нѣсколько ступеней (2 или 3),
то подъ ними дѣлается кладка одновременно съ клад-
кой стѣнъ для равномѣрной осадки, и уже на эту
кладку кладутъ ступени (рис. 17).

Въ противномъ случаѣ ступени, положенные независимо отъ стѣны, стали бы подыматься, въ виду осадки зданія.

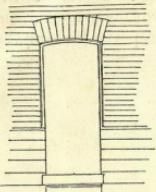


Рис. 16. Устройство прозора подъ ступенями, лежащими въ дверныхъ отверстияхъ.

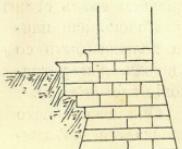


Рис. 17. Указана ступеней въ наружныхъ крыльяхъ на выступахъ фундамента.

Если пролѣтъ окна шириной до $1\frac{1}{2}$ аршина, то его перекрываютъ плитой изъ ступени (толщиною $3\frac{1}{4}$ — $3\frac{1}{2}$

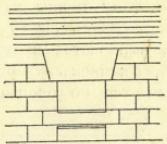


Рис. 18. Перекрытие оконныхъ отверстий плитой и ребро, замѣняющей перемычку.

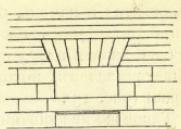


Рис. 19. Перекрытие отверстий перемычками изъ плиты.

вершка), поставленной на ребро, причемъ крайніе швы должны имѣть точку схода подобно перемычкѣ т. е.

вертикальныхъ швовъ неѣтъ, а есть швы пятовые, наклонные (рис. 18). При пролетахъ болѣе чѣмъ $1\frac{1}{2}$ аршина перекрытие дѣлаютъ уже изъ

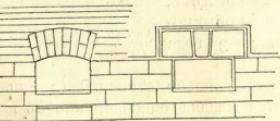


Рис. 20. Перекрытие отверстий кирличными перемычками и покрытие перемычки штукатуркой.

арочныхъ камней имѣющихъ одну точку схода въ центрѣ (рис. 19). Но при такомъ перекрытии обыкновенно требуется достаточной высоты цоколь, что при обыкновенныхъ постройкахъ будетъ считаться черезчур дорогоимъ. Поэтому, чтобы можно было при низкихъ цоколяхъ дѣлать арочное перекрытие, дѣлаютъ перемычку изъ кирпича и затѣмъ заштукатуриваютъ и красятъ, такъ что получается достаточно красивый видъ (рис. 20).

При кордонномъ цоколѣ отверстія размѣщаются такъ, чтобы верхня и нижня линія приходились въ горизонтальный шовъ кордона, и тогда отверстіе перекрываются или схватывающимъ карнизовъ или перемычкой.

Когда отверстія углубляются ниже цоколя, что бываетъ при глубокихъ подвалахъ въ большихъ городахъ подъ магазинами, то свѣтъ стараются пропустить туда черезъ рѣшетки, дѣля такъ называемые сухіе колодцы (рис. 21). Эти послѣдніе должны лежать также на выступахъ фундамента, и кроме того соединяться со сточной трубой. Очевидно, что основаніе колодца не можетъ быть ниже проложенныхъ канализационныхъ трубъ, а такъ какъ послѣднія у насъ лежатъ на глубинѣ $2\frac{1}{2}$ аршинъ, то глубина колодца не должна превосходить этой мѣры.

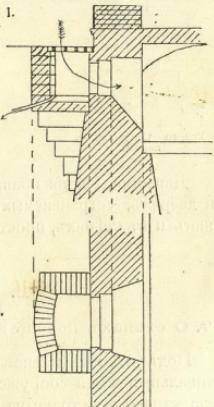


Рис. 21. Устройство сухихъ колодцевъ.
1) разрѣзъ, 2) планъ.

Какъ уже сказано выше, на цоколѣ нужно избѣгать всякихъ украшений, какъ напр. наличниковъ и тягъ у оконныхъ и дверныхъ отверстий. Всѣ сливы въ цоколѣ должны быть просты.

Когда первый этажъ зданія имѣетъ деревянныя балки, заложенные въ кладкѣ цоколя, то для того, чтобы балки не сырѣли отъ испареній изъ грунта, въ цоколѣ дѣлаются отверстія или продушины для циркуляціи воздуха подъ поломъ. Во избѣженіе сильного охлажденія эти продушины задѣлываются на зиму, а весною вновь открываются (рис. 22).

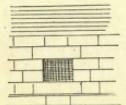


Рис. 22. Отдушина въ цоколѣ.

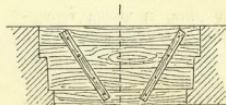


Рис. 23. Шаблонъ для правильной кладки притолокъ въ оконныхъ отверстіяхъ.

Для образованія правильныхъ притолокъ въ окнахъ и дверяхъ, устраиваемыхъ въ цоколѣ, употребляется, какъ и въ стѣнахъ, простой досчатый шаблонъ (рис. 23).

II. Стѣны.

7. О стѣнахъ вообще и каменныхъ въ частности.

Подъ общимъ именемъ стѣнъ разумѣются всѣ вертикальныя части сооруженій, служащія для огражденія извѣстнаго пространства съ боковъ и образованія опредѣленныхъ помѣщеній. По своему назначенню стѣны можно раздѣлить на нѣсколько видовъ.

1) Ограды, служащія для отдѣленія открытаго пространства отъ остальной его части; никакого груза, кромѣ собственного вѣса, ограды не несутъ; если подобныя стѣны служатъ для огражденія одной части

зданія отъ другой на случай пожара, то онѣ называются брандмауерами.

2) Подпорныя стѣны или одѣжды, поддерживающія земляные насыпи, набережныя рѣкъ и проч.

3) Стѣны жилыхъ и общественныхъ строеній и службъ, которыя въ свою очередь могутъ быть раздѣлены на капитальная и перегородки; наружныя (лицевые) и внутреннія и т. д.

4) Стѣны крѣпостныхъ сооруженій, подвергающіяся ударамъ пули и ядеръ.

Мы разсмотримъ здѣсь только первые три вида стѣнъ, такъ какъ послѣдній не составляетъ предмета гражданской архитектуры.

По матеріалу, изъ котораго возводятся стѣны, по слѣднія раздѣляются на:

- 1) каменная—изъ песчаника, гранита, кирпича и т. д.;
- 2) бетонная—изъ искусственной массы, твердѣющей отъ времени;
- 3) деревянная;
- 4) земляная;
- 5) металлическая;
- 6) смѣшанная изъ нѣсколькихъ родовъ матеріала.

Кладка каменныхъ стѣнъ можетъ быть раздѣлена на:

- 1) кладку правильную въ перевязь и на растворѣ, какова кладка кирпича;
- 2) на квадровую, безъ раствора, съ каменными или металлическими соединительными частями;
- 3) кладку неправильную (циклическую) безъ перевязи, хотя на растворѣ.

Наиболѣе употребительнымъ матеріаломъ для кладки стѣнъ у настъ служитъ кирпичъ, который удобенъ не только по своему небольшому размѣру, но и потому еще, что онъ менѣе теплопроводенъ, чѣмъ всѣ естественные камни, дешевле этихъ послѣднихъ и прекрасно схватывается съ растворомъ. Зданія изъ кирпича отличаются сухостью.

Что касается прочнаго сопротивленія кирпича, то,

хотя это сопротивлениѣ меньше сопротивлениѧ большинства естественныхъ камней, но для обыкновенныхъ гражданскихъ сооружений оно достаточно.

Къ недостаткамъ обыкновенного кирпича надо отнести то, что онъ не отличается красотою и довольно легко выѣтывается на открытомъ воздухѣ. Исключение составляетъ кирпич облицовочный, который не только достаточно красивъ, но и очень хорошо сопротивляется атмосфернымъ вліяніямъ.

Кирпичная стѣна по отношенію къ кладкѣ мы раздѣлимъ на три категоріи:

- 1) стѣны, предназначенныя подъ штукатурку;
- 2) стѣны, облицовываемыя особымъ кирпичемъ;
- 3) стѣны, облицовываемыя естественнымъ камнемъ.

8. Кладка кирпичныхъ стѣнъ подъ штукатурку.

При кладкѣ стѣнъ подъ штукатурку необходимо стараться не заполнять шовъ растворомъ вровень съ плоскостью стѣны, такъ какъ въ противномъ случаѣ штукатурка будетъ плохо держаться на стѣнѣ; нужно, шуанбортъ, стараться, чтобы швы были пустыми на глубину отъ $\frac{1}{2}$ до 1 дюйма. Достигается это двоякимъ образомъ: или выскребываютъ растворъ изъ шовъ на нужную глубину раньше, чѣмъ онъ успѣетъ затвердѣть, или закладываются на краю шовъ особыя рейки, толщиной въ $\frac{1}{4}$ дюйма и шириной въ 1 дюймъ (рис. 24).

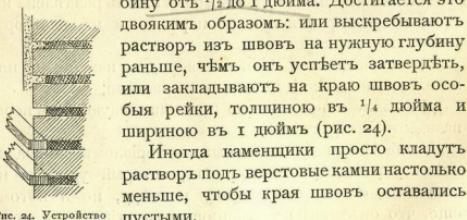


Рис. 24. Устройство пустотъ при стѣнѣ, покрываемой штукатуркой.

Иногда каменщики просто кладутъ растворъ подъ верстовые камни настолько меньше, чтобы края шовъ оставались пустыми.

Когда при оконныхъ и дверныхъ проемахъ необходимы штукатурные наличники, то для лучшаго ихъ удержанія на стѣнѣ, изъ стѣны выпускаются тычковые камни, вытесанные

по шаблону; выступы эти извѣстны подъ названиемъ собачекъ (рис. 25).

Передъ штукатуркой въ углубленія противъ ложковъ вставляются кусочки кирпича, тожественные съ собачками.

Для избѣжанія неравномѣрнаго высыханія штукатурки, которое всегда будетъ имѣть мѣсто при шаблонныхъ тягахъ на стѣнѣ, къ раствору прибавляется алебастръ, способствующій быстрому отвердѣванію всей массы.

Теска кирпича производится кирпешками; уголь, подъ которымъ можно стесывать кирпичъ, не долженъ быть менѣе 45° , иначе конецъ легко обламывается. Если въ кладку наружной стѣны на лицо выходить случайно кирпичъ желѣзникъ, то его передъ штукатуркой нужно обтесать, иначе штукатурка на немъ держаться не будетъ.

Обыкновенно попадающійся желѣзникъ каменщики стараются употребить не на верстовые камни, а на за бутку. Съ тою же цѣлью суютъ въ забутку алья кирпичъ, который кромѣ того легко выѣтывается, если будеть снаружи.

Дымовые трубы, которыхъ иногда въ стѣнѣ бываетъ очень много, необходимо прочищать отъ раствора, туда попадающаго, и швы тщательно выравнивать, но не смазывать глиной, которая держится недолго и только засариваетъ проходъ. Гораздо лучше закладывать въ дымовые каналы гончарныя или металлическія (желѣзныя и чугунныя) трубы, легко прочищаемыя отъ сажи.

Малыя выступы на фасадѣ подъ штукатурные пояски и карнизы весьма удобно вытесывать изъ кирпича плашмя или ребромъ; выступ кирпича долженъ быть однако въ среднемъ для каждого кирпича не болѣе

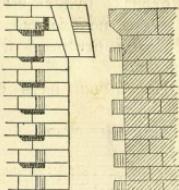


Рис. 25. Устройство собачекъ для оконныхъ и дверныхъ наличниковъ.

двухъ вершковъ т. е. $\frac{1}{2}$ длины (рис. 26). Шаблоны и лекалы для тески приготавливаются изъ 1" досокъ. Когда на стѣнахъ будуть выступы, соответствующіе рустамъ, то русты необходимо проектировать такъ, чтобы размѣры ихъ отвѣчали цѣльному числу рядовъ кирпичей (рис. 27).

Перемычки надъ оконными и дверными проемами

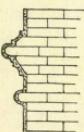


Рис. 26. Пояски и соответсвенные выступы кирпичей.

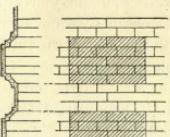


Рис. 27. Русты въ кирпичной кладкѣ и штукатуркѣ.

складываются по кружальнымъ доскамъ или ребрамъ съ досчатой опалубкой; толщина перемычекъ обыкновенно отъ 1 до $2\frac{1}{2}$ кирпичей, смотря по пролету.

Подробности о кладкѣ и размѣрахъ перемычекъ изложены ниже (§ 46).

9. Кирпичная стѣна съ кирпичной же облицовкой.

Вместо штукатурки стѣны иногда облицовываются хорошимъ кирпичемъ съ чистой раздѣлкой швовъ. Кирпичъ, употребляемый на наружную облицовку, берутъ обыкновенно лучшаго качества, хорошо сопротивляющійся холоду, сырости и т. д. Величина его такая же, какъ и обыкновеннаго. Для легкости онъ дѣлается пустотелымъ, т. е. съ пустотами, а для экономіи вмѣсто цѣлыхъ кирпичей употребляются иногда только половинки и четверушки. Тесатъ облицовочный кирпичъ нельзѧ, а потому его заказываютъ для профилированныхъ частей на заводѣ по шаблону, причемъ кирпичъ называется

лекальнымъ; иногда всѣ профилированные части дѣлаются изъ обыкновенного кирпича и штукатурятся. Чтобы можно было дѣлать швы тоньше и равнѣе въ аркахъ, облицовочный кирпичъ иногда дѣлается фасонный. Кладка облицовочного кирпича производится или одновременно съ кладкой стѣнъ, или послѣ окончанія постройки. Въ первомъ случаѣ кладка будетъ такой же, какъ при обыкновенномъ кирпичѣ. Швы всегда при этомъ дѣлаются пустотовкой и потомъ расширяются цементнымъ растворомъ посредствомъ гладилки, причемъ шамъ снаружи придаютъ разную форму: полукруглую, вогнутую, плоскую и т. д. (рис. 28). Для получения болѣе ровной пустотовки закладываются реечки.

Чтобы кирпичъ не запачкался снаружи отъ извести, вытекающей изъ швовъ, его покрываютъ слоемъ глины, которая затѣмъ легко смывается. Въ противномъ случаѣ надо смывать известь соляной кислотой крѣпостю 15° градусовъ и слѣбѣ, иначе кислота портитъ кирпичъ.

Для блеска кирпичики послѣ мытья натираются керосиномъ или другими жирными веществами.

Когда кладку облицовки желаютъ произвести послѣ кладки стѣнъ, то при кладкѣ послѣднихъ оставляютъ для перевязи штрабы, и кладку стѣнъ ведутъ какъ обыкновенно. По окончаніи кладки стѣнъ начинаютъ кладь облицовочный кирпичъ на растворѣ, по возможности тщательнѣе подгоняя къ штрабамъ и плотно заливая ихъ. Шовъ при этомъ также бываетъ на $\frac{1}{4}$ вершка пустой для расшивки впослѣдствіи. Мытье и предохраненіе отъ затековъ дѣлаются такъ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ.

Очевидно, эта кладка облицовки менѣе прочна, чѣмъ предыдущая и менѣе связана съ кладкой стѣнъ.



Рис. 28. Разница между цементнымъ растворомъ.

10. Кирпичные стены съ каменной квадровой облицовкой.

Какъ уже было сказано выше, для большей красоты и прочности, наружная поверхности стѣнъ облицовываютъ тесаннымъ или полированнымъ камнемъ. Наиболѣе употребительна облицовка мраморомъ, песчаникомъ, гранитомъ и известнякомъ. Для этого камни обтесываются чисто или полируются со стороны лица; заусенцы же и постели имѣютъ обтеску получистую или грубую; хвости обыкновенно бывають только околоты. Имѣя въ общемъ сходство съ облицовкой кирпичемъ, квадровая облицовка стѣнъ имѣетъ и свои особенности въ связи съ размѣрами этихъ камней. Прежде всего надо замѣтить, что облицовка можетъ быть сглѣана или одновременно съ кладкой стѣнъ, или впослѣдствіи.

Преимущество первого способа заключается в томъ, что лѣса приходится строить одинъ разъ; утрата на растворъ и материалъ вообще меньше; перевозъ сть остальной частью стѣны (съ кирпичной кладкой) достигается какъ нельзя лучше, такъ какъ уложеніе скобъ, анкеровъ и прочее очень удобно.

Недостатки этого способа также очень значительны, а именно: такъ какъ камни облицовочные бывають значительныхъ размѣровъ, а слой раствора между ними незначительной толщины, то осадка облицовки менѣе осадки самой кладки стѣны.

Поэтому при довольно быстрой работе кверху, может случиться, что облицовка будет выпираться частью освещенной стены, сильно напирающей на облицовку съ внутренней стороны послѣдней.

Другой недостаток заключается в томъ, что облицовка, веденная одновременно съ кладкой стѣны, во время работъ будетъ частью испорчена случайнымъ отламываниемъ кромокъ, профилей и прочея; наконецъ, растворъ, вытекающій изъ швовъ особенно въ мокрую погоду, пачкаетъ неотполированный камень, и всесма

трудно бываетъ потомъ очистить поверхность обливовки.

При второмъ способѣ кладки, т. е. когда облицовка дѣлается послѣ окончанія кладки стѣнъ, избѣгается недостатокъ неравномѣрной осадки, отламываніе кромокъ, загрызеніе камня и т. д., но въ то же время получается другой довольно нежелательный изъянъ, а именно: перевязь съ кирпичной кладкой стѣнъ является гадательной, такъ какъ трудно предположить, чтобы растворъ, не подверженный давленію, хорошо присталъ къ вертикальнымъ стѣнкамъ; заложеніе же анкеровъ и скобъ почти невыполнимо.

Въ виду изложенныхъ обстоятельствъ многие строители дѣлаютъ такъ: облицовочные камни отдѣльваются только со стороны постелей и заусенковъ, лицо же оставляютъ необтесаннымъ; никакихъ профилей не дѣлаютъ и все это исполняется только тогда, когда стѣна съ грубою облицовкой совершенно готова.

Казалось бы такой способ и рационален и прост и достигает цели прекрасно. На дѣлѣ же выходит это далеко не такъ. Прежде всего надо замѣтить, что теска вертикальныхъ поверхностей камней, вдѣланыхъ въ стѣну, вдвое и втрое труднѣе, чѣмъ той же поверхности отдельного камня, положенного во время работы горизонтально, ибо камнетесу приходится удалять не сверху внизъ, а сбоку, чего нѣтъ при обдѣлкѣ камней на землѣ. Второй недостатокъ, почти незамѣтный сначала,—это то, что во время тески около швовъ (рис. 29) рабочий невольно иногда ударяетъ тесовикомъ такъ, что отбиваетъ кромку заусенка и постели, отъ чего швы получаютъ безобразный видъ, а замѣна камня—новый—является невозможной.

Поэтому последний способъ, т. е. обдѣлка стѣнъ грубыи облицовкой имѣтъ только два достоинства, а именно: безусловное совпаденіе всѣхъ тягъ и линий на

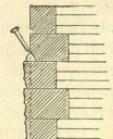


Рис. 29. Недостатки обтески камня, уложенного въ стѣну;

фасадѣ; чистоту фасада вообще и отдѣльныхъ профилей въ частности. Самый же большой недостатокъ остается въ томъ, что облицовка и стѣна будуть давать разную осадку, а слѣдовательно будутъ различно нагружены.

Что касается до соединительныхъ частей, то онѣ тѣ же, что при облицовкѣ цоколя, т. е. скобы, анкера, пироны и прочее; часто, особенно, когда облицовка идеть одновременно съ кладкой стѣны, соединеніе дѣлаютъ посредствомъ затески камней (рис. 30).

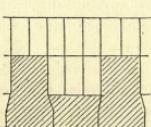


Рис. 30. Облицовка камнями безъ соединительныхъ желѣзныхъ частей.

Здѣсь слѣдуетъ обратить внимание еще на слѣдующее обстоятельство. Когда кладется чисто обтесанный облицовочный камень, то чтобы поверхность его была действительно вертикальной и чтобы шовъ былъ совершенно горизонтальнымъ, необходимо иногда до укладки камня подложить подъ него деревянные клинушки; клинушки эти должны быть предварительно вымочены тщательно въ водѣ, дабы подъ камнемъ не разбухали и не отрывали камня отъ раствора, а наоборотъ, отъ времени высохши и сжались настолько, чтобы весь камень сѣль на растворъ; вытаскивать эти клинушки изъ подъ камня нѣтъ никакой цѣли, такъ какъ по своей величинѣ сравнительно съ размѣрами камня они очень незначительны; нужно только, чтобы эти клинушки не выходили близко на фасадъ, дабы между лицевой поверхностью и клинушкомъ помѣстился растворъ во время расшивки швовъ.

Прокладывать свинецъ въ краяхъ швовъ очень полезно, но только если облицовочный камень будетъ отполированъ, иначе окись свинца въ связи съ солями, выдѣляемыми цементнымъ или известковымъ растворомъ, образуютъ чрезвычайно непріятные бѣлые потеки по камню, причемъ постѣ высыханія удалить потеки совершенно невозможно.

Вообще вопросъ о различныхъ выдѣляемыхъ веществахъ въ видѣ налетовъ на поверхности облицовки стѣнъ и краски по цементной штукатуркѣ до сихъ поръ мало разработанъ и требуетъ еще многихъ изслѣдований.

11. Кирпичные стѣны съ кордонной облицовкой изъ плитокъ и изразцовъ.

Наружные, а чаще даже внутреннія, поверхности кирпичныхъ стѣнъ взамѣнъ штукатурки облицовываются изразцами или плитками; облицовка эта обходится недорого, такъ какъ количество материала въ видѣ тонкости облицовочныхъ камней незначительна. Облицовка производится двоякимъ способомъ: или посредствомъ привязыванія изразцовъ къ кирпичнымъ стѣнамъ проволокой на подобіе того, какъ это дѣлается въ изразцовыхъ печахъ, или плиты прикрѣпляются къ стѣнѣ на цементномъ растворѣ. Для послѣдней цѣли на плитку кладутъ слой цементного раствора и приплѣпляютъ къ стѣнѣ въ вертикальномъ положеніи. Но чтобы растворъ отъ тяжести своей не сѣль и не отвалился вмѣстѣ съ плиткой отъ стѣны, необходимо чѣмъ нибудь распереть рядъ плитокъ; это достигается весьма просто наложеніемъ на плитки досокъ и подпираніемъ послѣднихъ распорками (рис. 31); при укладкѣ второго ряда поступаютъ точно такъ же. Главное условіе при этой работѣ то, чтобы стѣна кирпичная была безусловно чиста и лучше съ пустошковкой; передъ облицовкой плитками стѣну необходимо смочить водою, но такъ, чтобы она была только сырой, а не мокрой. Такимъ способомъ иногда облицовываются не только стѣны, но и потолокъ, какъ это можно видѣть въ гастрономическихъ магазинахъ, колбасныхъ и т. д.

Само собою понятно, что кордонная облицовка возможна постѣ окончательной осадки стѣнъ и передъ

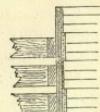


Рис. 31. Облицовка стѣнъ плитками.

самой отделькой внутреннихъ помѣщений или наружной поверхности фасада.

Главныя преимущества облицовки плитами и изразцами передъ штукатуркой—это чистота, въ которой можно сохранять помѣщения, такъ какъ мытье такихъ стѣнь и потолковъ не имѣетъ никакого худого вліянія на прочность облицовки, чего нельзя сказать о стѣнахъ, хотя бы съ масляной окраской; при сырости и мытьѣ штукатурка легко отстаетъ отъ стѣны и отваливается.

12. Прочность каменныхъ стѣнъ.

Одно изъ главныхъ условій того, чтобы цѣлое зданіе было устойчиво и прочно, заключается въ прочности стѣнъ. Какъ известно, строительные материалы обладаютъ весьма различными сопротивленіями, а слѣдовательно, прочность ихъ очень различна. Поэтому главное правило заключается въ томъ, чтобы материалъ стѣны не быть нагруженъ выше предѣла прочного сопротивленія его; это значитъ, что если прочное сопротивление материала равно напр. 4 пудамъ на 1 кв. дюймъ, то нагрузка въ какомъ бы то ни было сѣченіи стѣны не должна превосходить 4-хъ пудовъ на 1 кв. дюймъ.

Слѣдовательно, чтобы опредѣлить прочность стѣны, необходимо знать величину нагрузки и величину прочного сопротивленія материала.

Первую изъ нихъ опредѣляютъ изъ проекта, зная вѣсъ куб. единицы кладки различныхъ частей зданія. Величина же прочаго сопротивленія опредѣляется опытомъ. Для этого нагружаютъ опредѣленныхъ размѣровъ кусокъ камня до тѣхъ поръ, пока онъ не раздробится. Приходящаяся на одинъ кв. дюймъ сѣченія грузъ въ моментъ раздробленія называется времененнымъ сопротивленіемъ материала, а прочное сопротивление должно приниматься не болѣе $\frac{1}{10}$ временнаго; это зна-

читъ, что если камень выдерживаетъ, напр., до 40 пудовъ на 1 кв. дюймъ, послѣ чего онъ раздробляется, то прочное сопротивленіе его будетъ $\frac{40}{10} = 4$ пуда, выше котораго и не слѣдуетъ нагружать стѣны.

Но прочность камня еще не выражаетъ собою прочности стѣны. Дѣло въ томъ, что въ кладкѣ камни прикасаются не сплошь всю поверхности, а только определенными точками, а слѣдовательно прочное сопротивленіе стѣны меньше. Найдено опытомъ, что сопротивленіе стѣны или каменной кладки равно 0,5 до 0,9 сопротивленія сплошного камня, смотря по правильности постелей, по тексѣ и толщинѣ стѣны. Чѣмъ постель ровнѣе и лучше обтесана, тѣмъ сопротивленіе больше. Наименьшее сопротивленіе имѣетъ бутовая кладка изъ неправильнаго вида камней.

Далѣе, чѣмъ тоньше стѣна, тѣмъ меньше сопротивленіе материала. Это происходитъ отъ того, что при тонкихъ стѣнахъ растворъ изъ наружныхъ краевъ выпадаетъ, а слѣдовательно, давленіе передается не на все сѣченія камня, а на центральную часть. Это уменьшеніе площади живого сѣченія стѣны имѣетъ тѣмъ большее вліяніе на прочность, чѣмъ тоньше стѣна и толще швы; поэтому слѣдуетъ принять за правило дѣлать швы тѣмъ тоньше, чѣмъ меньше толщина стѣны. На уменьшеніе сопротивляемости стѣнъ имѣетъ громадное вліяніе кромѣ того продольный изгибъ (Ч. I, § 87).

При опреѣленіи прочности материала и кладки необходимо обращать внимание на слѣдующее.

1) Каменные материалы, особенно нѣкоторые изъ нихъ, быстро разрушаются отъ атмосферныхъ явлений: мороза, воды и сырости. Бывали случаи, что стѣны таяли отъ дождя, причемъ оказывалось, что принятый за камень значительной крѣпости материалъ содержалъ большое количество соли, которая и растворилась въ водѣ во время дождя; то же бывало съ камнями, содержащими гипсъ.

2) Стѣна, сложенная изъ отдельныхъ камней вовсе не представляетъ сопротивленія разрыву вслѣдствіе слабой связи раствора; сопротивленіе кладки поэтому будетъ только относительно раздробленія и скольженія.

3) Напряженіе материала можетъ превзойти предѣлъ прочнаго сопротивленія вслѣдствіе неравномѣрнаго сжатія.

13. Толщина каменныхъ стѣнъ.

Толщина стѣнъ въ жилыхъ домахъ зависитъ не только отъ прочности, но и отъ другихъ причинъ. Эти причины—следующія.

1) Температура наружного воздуха. Если бы дѣлать наружныя стѣны нашихъ жилыхъ зданій тоньше 1-го аршина, то эти стѣны зимой промерзали бы и стѣны бы были вѣчно сырья и даже мокрыя.

2) Отъ способа кладки; тѣмъ хуже кладка, тѣмъ прочность и устойчивость меньше, а следовательно, тѣмъ толще должны быть стѣны.

3) Отъ условій равновѣсія различныхъ частей зданія.

4) Наконецъ, толщина зависитъ отъ величины и формы отдельныхъ кусковъ камня; такъ, кирпичные стѣны не дѣлаютъ менѣе трехъ вершковъ толщины, иначе пришлось бы заказывать особый кирпич или тесать имѣющійся, что будетъ дороже.

Въ $\frac{1}{4}$ кирпича, т. е. на ребро кладутъ кирпичъ только въ печахъ, когда простѣнки невелики, иначе устойчивость ихъ очень незначительна. Изъ плиты стѣны не могутъ быть менѣе 12-ти вершковъ, иначе нельзя сдѣлать правильной перевязи, и устойчивость стѣнъ быстро уменьшается. Изъ булыгъ неправильной формы наименьшая толщина стѣнъ можетъ быть 1 аршинъ.

Для сохраненія теплоты плитная стѣна должна быть у нее не менѣе $1\frac{1}{4}$ аршина, а изъ гранита $1\frac{1}{2}$ аршина.

14. Устойчивость каменныхъ, свободно стоящихъ стѣнъ.

Относительно устойчивости всѣ каменные стѣны могутъ быть раздѣлены на три группы:

1) стѣны свободно стоящія, несущія на себѣ только собственный грузъ;

2) стѣны, подверженныя дѣйствію вертикальныхъ силъ;

3) стѣны, подверженныя дѣйствію горизонтальныхъ и вертикальныхъ силъ.

Къ свободностоящимъ стѣнамъ относятся ограды и брандмауэры.

Если свободная стѣна вытянута по прямой линіи, то для надлежащей устойчивости необходимо придать ей определенную толщину въ виду того, что на эту стѣну будетъ дѣйствовать вѣтеръ, который можетъ ее опрокинуть. Ронде нашель изъ опытовъ, что толщина свободныхъ стѣнъ, вытянутыхъ прямолинейно, должна быть $\frac{1}{8} - \frac{1}{12}$ высоты стѣны, смотря по тщательности кладки стѣнъ и удѣльному вѣсу материала кладки. Обыкновеннымъ кирпичнымъ стѣнамъ можно давать толщину $\frac{1}{10}$ высоты. Болѣе точно толщину стѣны можно вычислить графически или аналитически, такъ какъ стѣна изъ материала большого удѣльного вѣса очевидно устойчивѣе, чѣмъ изъ легкаго.

Расчетъ устойчивости стѣнъ графически производится слѣдующимъ образомъ: пусть имѣеть вѣсь стѣны P и линію тяжести, проходящую черезъ центръ тяжести сѣченія. Посрединѣ стѣны лѣтаетъ горизонтально давленіе v^2t , равное H пудовъ. Откладываемъ H и P и находимъ равнодѣйствующую R .

Если эта равнодѣйствующая не выйдетъ изъ пределовъ основанія и среднее напряженіе не будетъ большие прочнаго сопротивленія материала, то стѣна будетъ устойчивой.

Возьмем слѣдующий численный примѣр (рис. 32).
Дана ограда высотою 2 саж.; толщина ограды въ 2 кирпича или 12 вёршковъ = 0,25 саж.; длина ограды 10 саж.; вѣсъ кубической сажени кладки 1200 пудовъ; наибольшее давленіе вѣтра, перпендикулярное къ плоскости стѣны 50 пудовъ.

Требуется опредѣлить, будеть ли стѣна въ равновѣсіи, если толщина стѣны равна $\frac{1}{8}$ высоты?

Рѣшеніе. Вѣсъ стѣны будеть

$$2 \times 1 \times 0,25 \times 1200 = 600 \text{ пудовъ};$$

моментъ относительно наружной точки основания будеть

$$\frac{600 \times 0,25}{2} = 75 \text{ пудосаженей.}$$

Рис. 32. Графическое определение устойчивости свободностоящей стѣны.

Сила вѣтра равна $2 \times 50 = 100$ пудамъ; плечо ея 1,0 сажень можетъ будеть $100 \times 1 = 100$ пудосаженей, т. е. стѣна не устойчива. Это показываетъ, что выведенная Рондле толщина свободныхъ стѣнъ значительно меньше получаемой по расчету; происходит это оттого, что мы пришли напоръ вѣтра перпендикулярнымъ къ стѣнѣ и равнымъ 50 пудамъ. Но это возможно при самому сильномъ ураганѣ и то только тогда, когда давленіе будеть перпендикулярно къ стѣнѣ. Опыты показываютъ, что такое совпаденіе невыгодныхъ для устойчивости стѣнъ обстоятельствъ бываетъ такъ рѣдко, что можно смѣло принять наибольшее давленіе во время шторма въ 25 пудовъ на 1 кв. саженъ.

Тогда результаты Рондле будутъ согласоваться съ результатами расчета.

Когда стѣна стоять не отдельно и не будеть прямолинейной т. е. когда длина стѣны въ планѣ по прямой линіи ограничена другими стѣнами подъ угломъ или закругленіемъ, то, очевидно, эти послѣднія будутъ служить какъ бы подпорами для данной части стѣны, отчего послѣдняя можетъ быть тоньше. Въ этомъ случаѣ Рондле даетъ слѣдующее правило для определенія толщины стѣны: отложить на чертежѣ (рис. 33) высоту стѣны h по вертикальной линіи и описать около

верхней точки $\frac{1}{4}$ окружности радиусомъ равнымъ $\frac{1}{10}$ (или $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{12}$) высоты, откладываемъ на горизонтальной линіи, проведенной черезъ нижний конецъ высоты стѣны—длину ея m . Точку B соединяемъ съ точкой A . Тогда линія AB пересѣчетъ четверть окружности въ точкѣ b . Проектируя эту точку на горизонтальную линію, получимъ искомую толщину стѣны ab .

Очевидно, если стѣна не ограничена какими либо предѣлами или, что то же, стѣна безконечной длины, то точка B будетъ безконечно удалена и линія AB будеть горизонтальна. Въ этомъ случаѣ толщина стѣны равна радиусу описанной четверти круга т. е. равна $\frac{1}{10}$ высоты стѣны.

Съ другой стороны, если стѣна будеть въ планѣ круглой, то длина элемента стѣны равна нулю, а потому и толщина будеть нуль, что очевидно абсурдъ. Въ этомъ случаѣ Рондле предлагаетъ считать за длину стѣны дугу, отвѣчающую 30° ; тоже дѣлается и для многоугольныхъ плановъ, гдѣ число сторонъ болѣе двѣнадцати.

15. О контрафорсахъ.

Чтобы не утолщать чрезмѣрно стѣны при значительной ихъ высотѣ, прибегаютъ къ устройству контрафорсовъ, т. е. особыхъ утолщений съ той или другой стороны стѣны, на подобіе пилasters и лопатокъ (рис. 34). Контрафорсы эти при малой затратѣ материала въ сильной степени увеличиваютъ устойчивость и потому очень рациональны. Увеличеніе устойчивости

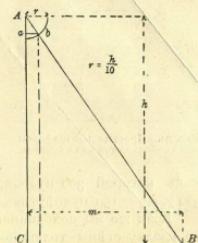


Рис. 33. Способъ Рондле для определения толщины свободностоящихъ стѣнъ.

стѣны контрафорсами происходит оттого, что увеличивается плечо груза стѣны, а следовательно и моментъ.

Дѣйствительно, если мы имѣмъ, напр., стѣну *A* (рис. 35),

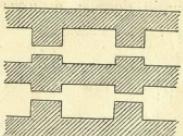


Рис. 34. Простые контрафорсы при свободно-стоящихъ стѣнахъ.

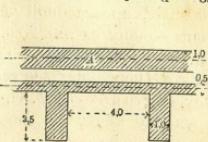


Рис. 35. Рассчетъ устойчивости стѣнъ съ контрафорсами.

вѣсь которой 300 пудовъ, плечо $\frac{1}{2}$ фута, то моментъ будетъ $300 \times 0,5 = 150$ пудофутовъ.

Если же мы половинное количество материала употребимъ на кладку стѣны толщиною $\frac{1}{2}$ фута, а остальной грузъ въ 150 пудовъ обратимъ въ контрафорсы длиною 2,5 фута, шириной 1 футъ, то моментъ груза стѣны будетъ

$150 \times 0,25 + 150 \times 1,75 = 150 \times 2 = 300$ пудофутовъ, т. е. моментъ увеличится вдвое.

На этомъ основаниі изъ трехъ видовъ контрафорсовъ, показанныхъ на рис. 44, наиболѣе рациональнымъ будетъ контрафорсъ, помѣщенный съ внутренней или наружной стороны стѣны, смотря потому, съ какой стороны будетъ дѣйствовать боковое усилие. При однѣхъ только вертикальныхъ силахъ наиболѣе рационально дѣлать контрафорсы съ двухъ сторонъ.

Контрафорсы особенно распространены въ постройкахъ готического стиля.

16. Устойчивость и прочность стѣнъ жилыхъ домовъ.

О томъ, что наружные стѣны во избѣжаніе промерзанія должны быть толщиной не менѣе $2\frac{1}{2}$ кирпичей (15—16 вершковъ), было уже сказано. Для определенія же толщины относительно устойчивости, необходимо пользоваться эмпирическими формулами, изъ

которыхъ болѣе рациональными слѣдуетъ признать формулы Ретенбахера, а именно: если означимъ чрезъ *t* ширину помѣщенія (поперекъ рассматриваемыхъ стѣнъ), черезъ *h₁*, *h₂*, *h₃* и т. д. высоту помѣщеній соответственно этажамъ, начиная сверху; черезъ *s₁*, *s₂*, *s₃* и т. д. искомую толщину стѣнъ въ тѣхъ же этажахъ, то (рис. 36)

$$\begin{aligned}s_1 &= \frac{t}{40} + \frac{h_1}{25} \\s_2 &= \frac{t}{40} + \frac{h_1 + h_2}{25} \\s_3 &= \frac{t}{40} + \frac{h_1 + h_2 + h_3}{25} \text{ и т. д.}\end{aligned}$$

Возьмемъ примеръ: пусть ширина помѣщенія будетъ 4 сажени или $4 \times 3 = 12$ аршинъ; помѣщеніе находится во второмъ этажѣ сверху; высота помѣщеній по барашинѣ; тогда толщина стѣнъ второго этажа сверху должна быть

$$s_2 = \frac{12}{40} + \frac{6+6}{25} = 0,3 + 0,48 = 0,78 \text{ аршина,}$$

т. е. болѣе чѣмъ въ 2 кирпича—следовательно въ $2\frac{1}{2}$ кирпича, меньше чего и нельзя дѣлать наружныхъ стѣнъ.

Если бы взяли при томъ же разстояніи между стѣнами толщину для 4-го этажа сверху, то имѣли бы

$$s_4 = \frac{12}{40} + \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{25} = \frac{6+6+6+6}{25} = 0,3 + 0,96 = 1,26,$$

т. е. толщина стѣнъ должна быть въ $3\frac{1}{2}$ кирпича.

Изъ этого видно, что для обыкновенныхъ нашихъ 5-ти этажныхъ домовъ можно принять слѣдующую толщину (рис. 37):

въ I-мъ этажѣ снизу въ 4 кирп. или $1\frac{1}{2}$ аршина
" II " " " " " $3\frac{1}{2}$ "
" III " " " " " 3 "
" IV и V " " " " " $2\frac{1}{2}$ "

Очевидно, если разстояніе *t* менѣе 12 аршинъ, напримѣръ

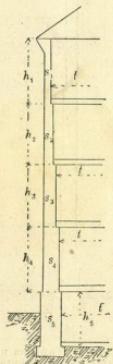


Рис. 36. Разрѣзъ стѣнъ для 4-го этажа сверху, обыкновенного жилаго зданія.

9 аршинъ, то при всей высотѣ зданія отъ карниза до покоя 9 саженей, имѣемъ

$$s_5 = \frac{9 \times 16}{40} + \frac{3 \times 9 \times 16}{25} = 21 \text{ вершокъ},$$

т. е. $3\frac{1}{2}$ кирпича отвѣчаетъ толщинѣ стѣнъ въ 1-мъ этажѣ снизу (Ч. III, § 84).

Всѣ эмпирическихъ формулъ для опредѣленія устойчивости и прочности стѣнъ даютъ результаты не точные, а иногда и совсѣмъ неправильные. Поэтому во всѣхъ сооруженіяхъ, где запасъ прочности можетъ представить хотя бы малѣйшее сомнѣніе, необходимо производить расчетъ устойчивости, принимая во вниманіе всѣ усилия и грузы, имѣющіе мѣсто въ данной части сооруженія.

Такъ какъ всякая стѣна представляется изъ себя рядъ камней, которые находятся въ равновѣсіи, благодаря лишь своей тяжести, то всѣ боковыя усилия дадутъ съ силами тяжести нѣкоторая равнодѣйствующая, имѣющая наклонное положеніе. Чтобы окончательная равнодѣйствующая имѣла вертикальное положеніе, нужно горизонтальная составляющая уничтожить связями (§ 30 и 31).

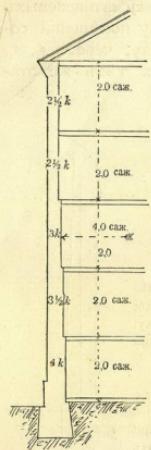
Рис. 37. Толщина наружныхъ стѣнъ 5-ти-этажного дома.

равнодѣйствующая имѣла вертикальное положеніе, нужно горизонтальная составляющая уничтожить связями (§ 30 и 31).

III. Устои.

17. Общее понятіе обѣ устояхъ и раздѣленіе ихъ.

Подъ именемъ устоевъ разумѣются тѣ стѣны и столбы, которые служатъ для поддержанія какъ сводчатыхъ перекрытий, такъ и другихъ частей сооружений, производящихъ боковое и неравнодѣйствующее давленіе.



Размѣры этихъ стѣнъ и столбовъ должны быть достаточной величины, чтобы, несмотря на дѣйствіе боковыхъ или изгибающихъ усилий, все сооруженіе находилось въ равновѣсіи.

По своему наружному виду и по внутреннему распределенію усилий всѣ устои могутъ быть раздѣлены на 4 категории, а именно: а) простыя опоры, б) двойные опоры, в) сложныя опоры, г) контрафорсы.

18. Равновѣсіе простыхъ (монолитныхъ) опоръ.

Опоры или устои называются простыми, когда представляютъ собою одну массу, всѣ частицы которой въ произвольномъ горизонтальномъ сѣченіи связаны между собою внутренними молекулярными силами. Сюда прежде всего относятся устои изъ одного куска камня или монолита. Но кроме того сюда могутъ быть отнесены опоры изъ отдѣльныхъ кусковъ камня, непосредственно связанныхъ между собою вяжущими веществами или растворами.

Очевидно, чѣмъ лучше связываетъ растворъ отдѣльные камни, тѣмъ ближе будетъ масса кладки къ монолиту и тѣмъ больше оснований считать опоры изъ такой кладки за простые устои. Кроме растворовъ связывающими элементами для отдѣльныхъ камней служатъ скобы, пироны, анкера, болты и т. д.

Рассмотримъ сначала устойчивость монолитныхъ опоръ. Пусть толщина опоры будетъ $IK = m$ (рис. 38). Означимъ величину распора арки черезъ H , вѣсъ арки черезъ P , равнодѣйствующую распора и вѣса черезъ R . Эта послѣдняя сила можетъ произвести вращеніе опоры около точки I , а чтобы этого не случилось, необходимо, чтобы равнодѣйствующая R , получаемая отъ сложенія силы R и G (гдѣ G — вѣсъ опоры) проходила между точками I и K основаній и при томъ въ средней трети, дабы все основаніе было подвержено скатию.

Равновесие опоры относительно вращения около произвольной точки M можно выразить уравнением:

$$Hh = Pn + Gs.$$

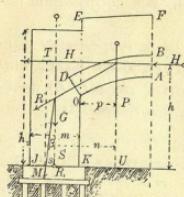


Рис. 38. Равновесие монолитной опоры.

Если означим высоту опоры через h_1 и примем третье измерение опоры за единицу, то имеем:

$$G = h_1 m,$$

где въесь кубическая единица опоры принять въ 1 пудъ. Но такъ какъ

$$n = p + \frac{2}{3}m$$

и, кроме того,

$$s = \frac{1}{6}m,$$

то имеемъ:

$$Hh = P \left(p + \frac{2m}{3} \right) + \frac{h_1 m^2}{6} \dots\dots (I).$$

Изъ этого уравненія найдемъ величину m , когда будутъ даны величины H , h , P , p , и h_1 . Сложивъ по правилу параллелограмма силъ величины R и G , получимъ равнодѣйствующую R_1 . Чтобы не произошло скольженія по основанию IK необходимо, чтобы направление равнодѣйствующей R_1 образовало съ вертикальной линіей уголъ β менѣе угла тренія, а уголъ тренія для большей безопасности будемъ принимать въ 27° , слѣдовательно, условіе равновесія относительно скольженія выражается такъ:

$$H \equiv (P + G) \operatorname{tg} 27^\circ;$$

но такъ какъ $\operatorname{tg} 27^\circ = 0.5$, а по вышесказанному

$$G = h_1 m,$$

то послѣднее уравненіе можно замѣнить такимъ:

$$H \equiv 0.5 (P + h_1 m),$$

откуда

$$m = \frac{2H - P}{h_1} \dots\dots (II).$$

Изъ двухъ приведенныхъ уравнений (I и II) получимъ разныя величины для m , причемъ за истинную нужно принять большую изъ нихъ.

19. Простая опора съ горизонтальными швами.

Предположимъ теперь, что опора наша представляется не монолитъ, а цѣлый рядъ камней небольшой толщины, но длинною и шириной во все съченіе опоры, причемъ камни сложены безъ всякой связи между собою. Тогда, очевидно, условіе равновесія относительно вращения остается то же, такъ какъ давленіе передается на все основаніе IK опоры.

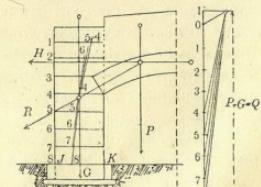
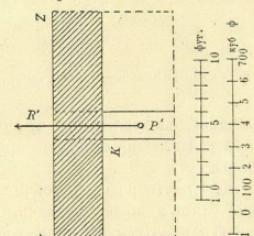


Рис. 39. Равновесие простой опоры съ горизонтальными швами.

видно, если построимъ направление равнодѣйствующихъ въ каждомъ швѣ, какъ показано на рис. 39.

Поэтому, чтобы быть гарантированнымъ въ устойчивости опоры относительно скольженія, необходимо, чтобы приведенное выше уравненіе (II) удовлетворяло не только шву IK , но и всякому другому шву, въ особенности же первому отъ пяты (4).

На этомъ основаніи мы встрѣчаемъ въ практикѣ особые приемы кладки опоръ (рис. 40); наибольшаго-

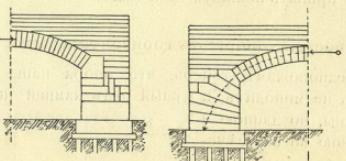


Рис. 40. Зависимость кладки опоръ отъ вида кривой давленія

вниманія заслуживаетъ второй приемъ, представляющій какъ бы продолженіе арочной кладки въ массивъ опоры.

Роль раствора въ устойчивости опоры слѣдующая. При самомъ начальѣ кладки, когда растворъ еще не отвердѣлъ, уголь тренія камня на растворѣ очень небольшой, т. е. растворъ уменьшаетъ угол тренія между камнями, а слѣдовательно и устойчивость опоры относительно скольженія отъ употребленія раствора уменьшается, и опора, которая будетъ, можетъ быть, устойчивой послѣ отвердѣнія раствора, неустойчива во время самой кладки.

Въ виду этого приходится употреблять временные приспособленія для удержанія опоры въ равновѣсіи и удалять эти приспособленія лишь послѣ того, какъ растворъ достаточно окрѣпѣтъ; къ такимъ приспособленіямъ относятся между прочимъ временные связи.

Съ другой стороны мягкий растворъ вредно отзывается на устойчивости опоръ и относительно вращенія. Дѣло въ томъ, что вслѣдствіе неравномѣрнаго давленія на разныя сѣченія опоры, растворъ въ болѣе сжатомъ краѣ выжимается, и камни будутъ наклоняться наружу. Очевидно, при томъ способѣ кладки, какой показанъ на рис. 40 справа, этотъ недостатокъ почти совершенно устраняется.

Изъ сказанного выводимъ, что для того, чтобы можно было разматривать опору, сложенную изъ ряда горизонтально расположенныхъ камней съ постелями, равными площади сѣченія опоры, какъ монолитъ, необходимо связать камни между собою въ вертикальномъ направленіи. Достигается это вполнѣ слѣдующими средствами.

1) Болтами, пропущенными во всю высоту опоры. Подобныхъ опоры устраиваются, напримѣръ, при динамо-машинахъ, когда опора или фундаментъ подвержены боковому давленію (рис. 41) и когда для равновѣсія необходимо, чтобы весь вѣсь опоры былъ равенъ суммѣ вѣсовъ самой опоры и фундамента.

2) Желѣзными рамами, обтягивающими всю кладку опоры, и называемыми каркасомъ.

Достигается то же самое, хотя не вполнѣ:

1) кладкой камней на хорошемъ цементномъ растворѣ;

2) пиронами и скобами.

Въ слабой степени можно достигнуть этого кладкой камней на известковомъ растворѣ; растворъ въ этомъ случаѣ служить не только для того, чтобы камни лучше лежали другъ на другѣ, но и въ нѣкоторой степени для связыванія камней между собою и для приданія кладкѣ свойствъ монолита.

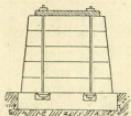


Рис. 41. Превращение простой опоры съ горизонтальными ливами въ монолитную.

20. Простыя опоры съ горизонтальными и вертикальными швами.

Если возьмем опору, сложенную изъ отдельныхъ кусковъ камнѣ, т. е. имѣющу вертикальные и горизонтальные швы, то условия устойчивости какъ относительно вращенія, такъ и скольженія будутъ отличаться отъ таковыхъ діля монолитныхъ опоръ.



Рис. 42. Простая опора изъ отдельныхъ камней.

Поэтому, чтобы такую опору можно было рассматривать, какъ простую монолитную массу, нужно всѣ камни связать не только въ горизонтальномъ, но и въ вертикальномъ направлениі. Достигнуть этого вполнѣ гораздо труднѣе, чѣмъ въ предыдущемъ примѣрѣ. Отчасти это достигается слѣдующими средствами:

1) всѣ камни горизонтального ряда соединяются между собою скобами или затеской; сверхъ опоры, а

также въ другихъ горизонтальныхъ съченіяхъ, прокладываются сплошные камни, стягиваемые во всю высоту опоры болтами;

2) всѣ камни кладутся на хорошемъ цементномъ растворѣ.

Въ слабой степени это достигается кладкой камней на известковомъ растворѣ.

Понятно, что если сила будетъ дѣйствовать на опору только въ видѣ скатія во всѣхъ съченіяхъ, то опора изъ отдельныхъ камней на растворѣ будетъ очень близка по своимъ качествамъ къ монолитной, принимая, что линія давленія при этомъ нигдѣ не образуетъ съ нормалами къ швамъ угла менѣе угла тренія материала кладки.

Но даже при существованиіи одного скатія въ кладкѣ, устой изъ отдельныхъ камней съ вертикальными швами имѣетъ свойство нарушать равновѣсіе, развивая побочныя усилия, стремящіяся разъединить кладку въ срединѣ высоты (рис. 43); вотъ почему прокладываніе плинтъ во всю толщину устоя весьма полезно.

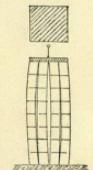


Рис. 43. Свойство продольного изгиба кладки изъ отдельныхъ камней.

21. Прочность простыхъ опоръ.

Прочность простыхъ (монолитныхъ) опоръ повѣряется на раздробленіе въ съченіяхъ наиболѣе слабыхъ.

Возьмемъ численный примѣръ. Положимъ, что планъ устоя намъ данъ (рис. 17, ч. I) въ видѣ симметричной относительно оси AB плоскости, причемъ сила дѣйствуетъ въ вертикальной плоскости этой оси и проходитъ въ данномъ съченіи черезъ точку C .

Пусть вертикальная составляющая данной силы будетъ $P = 6300$ пудовъ.

Чтобы определить наибольшее напряженіе материала въ данномъ съченіи, дѣлимы площадь съченія на элементарныя части и находимъ центръ тяжести этого съченія, проводя линію

тяжести площадей нормально к оси AB . Затемъ проектируемъ точку n на одну изъ крайнихъ сторонъ веревочного многоугольника, т. е. получаемъ точку M . Изъ этой точки по правилу Мора (ч. I, § 68) проводимъ линію MN такъ, чтобы дѣлъ площади Q и F , отсекаемыя линіей MN отъ веревочнаго треугольника и многоугольника (заштрихованыя на чертежѣ), были равны. Черезъ полученную точку N (на другой крайней сторонѣ веревочнаго многоугольника) пройдетъ нулевая линія напряженія, перпендикулярная къ оси симметрии AB .

Затѣмъ находимъ величину среднаго давленія, т. е. $\frac{P}{\omega}$, гдѣ ω есть площадь сѣченія, равная согласно масштабу.

$$\frac{2 \times 2,2 \times 8}{2} = 17,6 \text{ кв. ф.}$$

или

$$17,6 \times 144 = 2534 \text{ кв. дюйм.}$$

Среднее давленіе будетъ слѣдовательно $\frac{6300}{2534} = 2,5$ пуда на 1 кв. дм.

Но такое давленіе будетъ находиться только въ центрѣ тяжести сѣченія, а въ краяхъ давленіе будетъ больше или меньше.

Отложивъ на линіи центра тяжести по произвольному масштабу эту величину и проволю линію черезъ точки D и d , получимъ площадь (діаграмму) напряженій BAd , при чёмъ величина Aa будетъ выражать наибольшее напряженіе, будучи взята по тому же масштабу, какъ линія cd . Взята эту величину по циркулю, видимъ, что наибольшее напряженіе равно 4 пудамъ а наименьшее 1,00 пуду.

Профѣримъ это аналитически. Мы знаемъ, что напряженіе k равно:

$$k = \frac{P + Pyx}{I},$$

но

$$\frac{P}{\omega} = 2,5; y = 0,35 \text{ фута,}$$

или

$$0,35 \times 12 = 4,2 \text{ дм., } x_1 = 28 \text{ дм., } x_2 = 28 \text{ дм., } I = 0,6 \times 30^4 = 486000.$$

Слѣдовательно:

$$k = 2,5 \pm \frac{6300 \times 4,2 \times 28}{486000} = 2,5 \pm 1,5,$$

т. е. наибольшее напряженіе равно

$$k_1 = 2,5 + 1,5 = 4 \text{ пуд.}$$

и наименьшее равно

$$k_2 = 2,5 - 1,5 = 1,0 \text{ пуд.}$$

Если опора будетъ сложена изъ отдѣльныхъ кусковъ камня, то примѣненіе указаннаго правила къ определенію наиболѣшаго напряженія невозможно и, если въ практикѣ всетаки примѣняютъ его, то очевидно, съ нѣкоторымъ рискомъ, допуская, что устой, благодаря правильной персвязи камней и сѣплѣнію раствора, превращается въ монолитную массу.

22. Устойчивость простыхъ опоръ со сложной нагрузкой.

Весьма часто въ практикѣ встрѣчается такъ, что на простую опору переходятъ грузы и распоры отъ разныхъ частей сооружения, и при этомъ грузы, развивающіе распоръ, не лежать въ плоскости дѣйствія этого распора, вслѣдствіе чего вопросъ о равновѣсии опоры можетъ казаться нѣсколько гадательнымъ. Но практика показала, что можно этимъ игнорировать и разсчитывать вести обыкновеннымъ порядкомъ.

Возьмемъ слѣдующій примѣръ: на четырехугольномъ планѣ (рис. 44) возводится церковь; кладкой дошли до линіи AB ; требуется опредѣлить, будетъ ли возведенное сооруженіе устойчивымъ и прочімъ, если прекратить дальнѣйшія работы и освободить все отъ вспомогательныхъ конструкцій? Для решенія этого вопроса необходимо опредѣлить прежде всего распоръ паруса и арокъ. Предположимъ, что и то, и другое уже слѣдовано, и что распоръ арки равенъ:

$$H_1 = 1600 \text{ пуд.}$$

и приложенъ въ точкѣ a ; диагональный распоръ паруса равенъ:

$$H_2 = 1000 \text{ пуд.}$$

и приложенъ къ точкѣ b .

Опредѣлимъ теперь всѣ грузы, переходящіе на опору. Грузы эти слѣдующіе.

1) Грузъ $\frac{1}{4}$ объема барабана до линіи паруснаго кольца, примемъ опредѣленнымъ и равнымъ 1272 пудамъ.

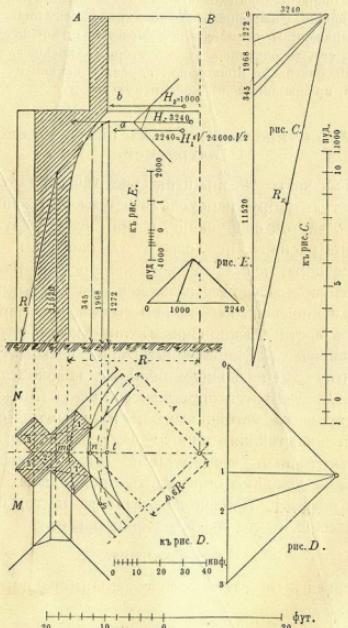


Рис. 44. Рассчет простой опоры при действии вертикальныхъ и горизонтальныхъ усилий.

2) Грузъ двухъ полуарокъ съ забуткой, при объемѣ кладки:

$$2 \times 4 \left(16 \times 10 - \frac{\pi \times 10^3}{4} \right) = 656 \text{ куб. фут.},$$

равенъ:

$$656 \times 3 = 1968 \text{ пуд.}$$

3) Грузъ паруса, при объемѣ:

$$\frac{21^3}{80} = 115 \text{ куб. фут.}$$

равенъ

$$115 \times 3 = 345 \text{ пуд.}$$

4) Грузъ самой опоры, при площади равной

$$4 \times 4 \times 3 + 4 \times 6 \times 2 = 96 \text{ кв. фут.};$$

высотѣ 40 фут. и объемѣ:

$$96 \times 40 = 3840 \text{ кв. ф.},$$

равенъ

$$3840 \times 3 = 11520 \text{ пуд.}$$

Что касается точекъ, черезъ которыхъ пройдутъ центры тяжести означенныхъ частей, то на рисункѣ центръ тяжести опоры будетъ m ; онъ полученъ графически; центръ тяжести острого паруса n , находится на разстояніи $R \cdot 0,6 \sqrt{2}$ отъ оси, что и получено построениемъ; центръ тяжести $\frac{1}{4}$ барабана t будетъ лежать почти на $0,9 \sqrt{2}$ отъ оси; наконецъ, центръ тяжести арки s съ забуткой предполагается полученнымъ при опредѣлении распора арки. Сложивъ графически два распора и затѣмъ полученную равнодѣйствующую распоровъ, т. е. 2600 пуд. съ вертикальными грузами, получимъ окончательную равнодѣйствующую R_x , которая, хотя не выходитъ изъ площади опоры, тѣмъ не менѣе очень близка къ наружному краю.

Рассматривая приведенный примеръ, мы видимъ слѣдующее: для опредѣленія устойчивости простыхъ опоръ какого либо сооруженія, напр. часовни, дѣлъмъ ее въ планѣ на 4 части (по числу опоръ) двумя взаимно перпендикулярными осями и предполагаемъ, что зданіе будетъ разрушаться, распадаясь на 4 части, что вполнѣ естественно, такъ какъ распоры арокъ и парусовъ будутъ дѣйствовать и уравновѣшиваться двумя парами взаимно противоположныхъ силъ. Далѣе мы видимъ, что, найдя распоры арокъ и паруса, мы находимъ равнодѣйствующую ихъ въ диагональномъ сѣченіи, для чего складываемъ по правилу параллелограмма силъ сначала два распора полуарокъ, т. е. получимъ распоръ арокъ на одну опору, равную $1600 \times \sqrt{2} = 2240$ пудамъ, а затѣмъ, графически складываемъ два распора въ 1000 и 2240 пуд. и получимъ распоръ въ 3240 пуд. Отложивъ эту величину на планѣ силъ, строимъ линію давленій въ опорѣ и видимъ, что она почти выходитъ изъ площади опоры, изъ чего заключаемъ, что устойчивость недостаточна, если принять, что линія давленія должна проходить въ ядрѣ сѣченія.

Провѣримъ расчетъ аналитически. Опрокидывающими усилиями будутъ распоры. Моментъ распора паруса равенъ:

$$H_2 = 1000 \times 41 = 41000 \text{ пудофутовъ.}$$

Моментъ распоровъ полуарокъ будетъ равенъ

$$H_1 = 2240 \times 36 = 80640 \text{ пудофутовъ.}$$

Весь опрокидывающій моментъ равенъ:

$$41000 + 80640 = 121640 \text{ пудофутовъ.}$$

Моменты грузовъ будутъ относительны линіи MN слѣдующіе:

моментъ груза барабана	3957.16	$= 63312$	пудофут.
" " арки	1968.15	$= 29340$	"
" " паруса	345.13	$= 4485$	"
" " опоры	11520.7	$= 80640$	"

Итого сумма удерж. моментовъ $= 177777$ пудофут.

Коэффицієнтъ устойчивости будетъ:

$$\frac{177777}{121640} = 1.46,$$

что хотя достаточно для равновѣсія вообще, но недостаточно для полной устойчивости и прочности сооруженія.

23. Устойчивость и прочность двойныхъ опоръ.

Подъ названіемъ двойныхъ опоръ разумѣютъ такую систему распределенія устоевъ, когда боковая усиливая, дѣйствующая на одинъ изъ устоевъ, могутъ переходить на другой, несмотря на то, что устои будутъ разделены другъ отъ друга кладкой въ видѣ арокъ или сводовъ.

Возьмемъ примѣръ. Пусть будутъ даны (рис. 45) 3 арки, опирающіяся на 2 столба и 2 наружные стѣны. Предположимъ, что равнодѣйствующая распора и грузъ средней арки т. е. сила

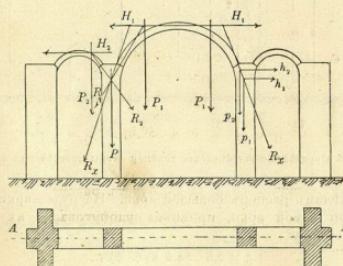


Рис. 45. Двойная опора.

R_1 найдена; точно также пусть будетъ найдена сила R_2 , т. е. равнодѣйствующая распора и грузъ малой арки и, наконецъ, предположимъ, что грузъ P столбъ цамъ данъ, и всѣ три силы R_1 , R_2 и P даутъ одну равнодѣйствующую R_z , выходящую изъ площади основания столба. Тогда, очевидно, столбъ неустойчивъ самъ по себѣ; какой бы громадной устойчивостью ни обладала

боковая стѣна, она устойчивости столба не увеличить, такъ какъ при паденіи столбъ, опрокидываясь, производить бы на стѣну горизонтальное давление; но это давленіе, где бы ни была точка его приложения, будетъ выходить изъ предѣловъ или столба или малой арки, а стѣдовательно, давленіе это на стѣну не передастся, и потому стѣна никакого сопротивленія для силы R_x или его составляющихъ не представить. Совершенно иначе было бы дѣло, если бы надъ малой аркой была сплошная кладка. Тогда наружная стѣна могла бы служить подпорой столбу. Возьмемъ примѣръ.

Пусть будетъ дано 3 арки, опирающіяся на 2 столба и 2 стѣны, при чмъ боковая арки лежать ниже срединъ и надъ боковыми имѣется значительной высоты кладка (рис. 46).

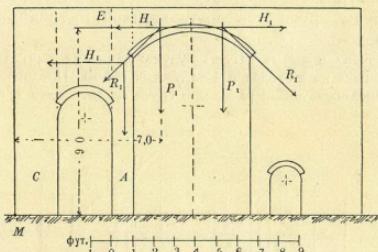


Рис. 46. Определеніе устойчивости двойной опоры простѣйшаго вида.

Опредѣльимъ распоръ большой арки. Нагрузка арки вмѣстѣ съ кладкой самой арки, принимая ширину арки въ 1 футъ, равна по объему:

$$1.5 \times 2.8 = 4.2 \text{ куб. фут.}$$

что даетъ грузъ

$$4.2 \times 3 = 12.6 \text{ пуд.}$$

Отложивъ эту величину на планѣ силъ, находимъ распоръ арки H_1 , и равнодѣйствующую R_1 . Примемъ распоръ малой арки за нуль; тогда, очевидно, столбъ A можетъ быть въ равновѣсіи, только благодаря стѣнѣ C , а чтобы это равновѣсіе состоялось, необходимо, чтобы распоръ H_1 не былъ въ состояніи опрокинуть этой стѣны. Предполагая всю кладку стѣны C ,

столба A и надбутки надъ малой аркой за монолитъ, необходимо чтобы моментъ распора H_1 относительно точки M былъ меньше суммы моментовъ всѣхъ грузовъ.

Моментъ распора H_1 равенъ:

$$12.6 \times 9.0 = 113.4 \text{ пудофута.}$$

Моменты грузовъ суть слѣдующие.

Моментъ P_1 равенъ:

$$12.6 \times 7 = 88 \text{ пудофутовъ.}$$

Грузъ столба A равенъ:

$$1 \times 1 \times 10 = 10 \text{ куб. футовъ}$$

или

$$10 \times 3 = 30 \text{ пуд.}$$

моментъ его

$$10 \times 5.2 = 52 \text{ пудофут.}$$

Грузъ надбутки малой арки:

$$2.6 \times 4 = 10.4 \text{ куб. фута}$$

или

$$10.4 \times 3 = 31.2 \text{ пуд.,}$$

моментъ груза:

$$31.2 \times 3.4 = 106 \text{ пудо-футовъ.}$$

Грузъ стѣны C равенъ:

$$2 \times 10 = 20 \text{ куб. фут.}$$

или

$$20 \times 3 = 60 \text{ пудовъ,}$$

моментъ его равенъ:

$$60 \times 1 = 60 \text{ пудофут.}$$

Итого удерживающихъ моментовъ:

$$88 + 52 + 106 + 60 = 306.$$

Коэффиціентъ устойчивости будетъ:

$$\frac{306}{13} = 2.7.$$

Это показываетъ, что сооруженіе совершенно устойчиво.

Примечание. Если бы вся кладка *A*, *C*, *E* была изъ отдельныхъ камней, то, очевидно, столбъ *A* никакого сопротивления опрокидыванію не оказывалъ бы и моментъ удерживающихъ силъ быть бы:

$$52 + 106 + 60 = 218 \text{ пудофутовъ,}$$

и коэффиціентъ устойчивости былъ бы равенъ только:

$$\frac{218}{113} = 1.9,$$

т. е. и въ такомъ случаѣ опора была бы устойчивой.

24. О желѣзныхъ связяхъ. Рассчетъ ихъ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда распоры арокъ даютъ кривую давленія, выходящую изъ предѣловъ опоры или пересѣкающую основаніе опоры въ такомъ мѣстѣ, что возможно вращеніе опоры, необходимо уничтожить распоры арокъ всѣ или частью посредствомъ связей. Уничтожить распоръ не значитъ, что онъ не будетъ уже дѣйствовать въ аркѣ, ибо безъ распора арка существовать не можетъ; уничтожить распоръ значитъ лишить горизонтальную силу возможности дѣйствовать опрокидывающимъ образомъ на опору (рис. 47). Тогда вся система будетъ въ равновѣсіи и на опору перейдетъ только грузъ половины арки, а не равнодѣйствующая *R*₁ и *R*₂.

При расчетѣ всякой связи, т. е. при определеніи размѣровъ сѣченія связи необходимо прежде всего найти ту величину распора, которую должна уничтожить связь. Обыкновенно принимаютъ, что связь всей величинѣ распора арки. Это неправильно и далеко непрактично. Дѣйствительно, въ этомъ случаѣ связь будетъ одинаковой для какой угодно опоры, ибо распоръ будетъ тотъ же;

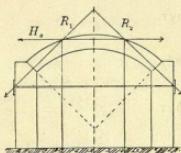


Рис. 47. Роль связей при уничтоженіи распора.

должна сопротивляться всей величинѣ распора арки. Это неправильно и далеко непрактично. Дѣйствительно, въ этомъ случаѣ связь будетъ одинаковой для какой угодно опоры, ибо распоръ будетъ тотъ же;

такъ что для устойчивости зданія размѣръ опоры не играетъ никакой роли, точно такъ же, какъ и высота опоры. На самомъ дѣлѣ опыты и практика даютъ факты, совершенно стъ этимъ несогласные.

Такъ, напр., если мы деревянные столбы *A* (рис. 48) подвергнемъ распору двухъ наклонныхъ брусьевъ *C*, то брусья эти разорвутъ столбы, вращая ихъ около точекъ *m* и *n*. Чтобы столбы *A* не опрокинулись, въ верхнихъ точкахъ столбовъ *A* привязываемъ веревку въ видѣ связы, причемъ посреди веревки находится динамометръ, показывающій величину напряженія веревки. Положимъ, что это напряженіе равно 20 фунтамъ.

Если теперь положимъ на столбы *A* добавочные грузы, то увидимъ, что столбы *A* нѣсколько наклонятся внутрь, и напряженіе будетъ меныше, напр., 15 фунт.

Это показываетъ, что добавочный грузъ послужилъ въ пользу устойчивости.

Опредѣлимъ теперь зависимость между различными силами, дѣйствующими въ данномъ опытѣ. Пусть грузъ столба *A* равенъ *P* пуд.; центръ тяжести этого груза отъ точекъ *m* и *n* будетъ *p* саж.; грузъ *C*, положимъ, равенъ *Q* пуд. и разстояніе центра тяжести этого груза отъ тѣхъ же точекъ будетъ *q*; распоръ брусьевъ пусть будетъ *H* и плечо его до основанія столбовъ *A* равно *h*; напряженіе связы примемъ *H₁*, плечо связи *h₁*.

Тогда

$$H_1 h_1 + Pp + Qq - Hh = 0,$$

откуда

$$H_1 h_1 = Hh - (Pp + Qq)$$

или

$$H_1 = \frac{Hh - (Pp + Qq)}{h_1}$$

Итакъ, сохраняя мгновенное равновѣсіе, связь будеть растягиваться не силою H пудовъ, а силою H_1 ; но если мы желаемъ, чтобы равновѣсіе было устойчивымъ и все основаніе было подвержено сжатію, то нужно только взять точки вращенія m и n не на краю, а въ средней трети основанія.

Второе, на что приходится обращать вниманіе при расчетѣ связей—это величина напряженій, происходящая отъ того, что связь, задѣланная въ неподвижныи опоры, не въ состояніи скиматься при пониженіи температуры и потому напрягается настолько, что независимо отъ распора можетъ разорваться.

Связь при пониженіи температуры дѣлается короче или, иначе говоря, пониженіе температуры мы должны рассматривать какъ вѣнчшюю силу, скимающую связь; распоръ же арки есть сила растягивающая, слѣдовательно, величина напряженія связи не увеличивается отъ приложения распора, ибо распоръ только даетъ развитіе напряженію связи, которое есть сопротивленіе распору и уравновѣшиваетъ послѣдній. Такимъ образомъ, предполагать, что отъ пониженія температуры связь напрягается настолько больше напряженія отъ распора, насколько измѣняется напряженіе вслѣдствіе укороченія—совершенно неправильно. Если же связь, вслѣдствіе задѣлки въ опорахъ, можетъ напрягаться болѣе, чѣмъ дѣйствіе распора, то это происходитъ совершенно назависимо отъ послѣдн资料.

Наконецъ, если мы предположимъ, что напряженіе связи равно суммѣ напряженій, развивающихся распоромъ и укорочениемъ связи, то получимъ невѣроятное состояніе силъ. Дѣйствительно, если назовемъ сумму напряженій черезъ M , то (рис. 49) распоръ и напряженіе отъ холода можно замѣнить одной силой M , равной

$H_1 + H$, гдѣ H_1 есть напряженіе отъ укороченія связи. Равнодѣйствующая R_1 будетъ болѣе наклонна, чѣмъ R , получаемая отъ сложенія силъ H_1 и P , иначе говоря, распоръ H не только не стремится опрокинуть опору наружу, а наоборотъ—внутрь, что очевидно немыслимо; точно также немыслимо предполагать, что вслѣдствіе укороченія связи опоры распираются наружу.

Такимъ образомъ, для определенія размѣровъ связи необходимо определить величину сѣченія въ зависимости только отъ распора, такъ какъ какой бы величины связь ни была, при извѣстной разности температуръ она разрывается; разность эта равна приблизительно 35° и опредѣляется на основаніи коэффиціента расширения жѣлѣза, какъ уже извѣстно изъ теоріи упругости и прочности материаловъ.

Въ гражданскихъ сооруженіяхъ разность температуръ не бываетъ болѣе 28° , почему связь необходимо дѣлать такого сѣченія, какъ это требуется для распора.

25. Укладка связей.

Кромѣ связей, служащихъ для уничтоженія распора арокъ или вообще подверженныхъ продольному вытягиванию, въ практикѣ встречаются связи, закладываемые въ стѣны четвертаго и пятаго этажей какъ бы для того, чтобы перевязать эти стѣны между собою. Такъ какъ въ этомъ случаѣ никакая сила непосредственно на связи не дѣйствуетъ, то, очевидно, ихъ можно кладывать какой угодно величины.

На этотъ основаніи многие считаютъ ихъ совершенно бесполезными и вовсе не примѣняютъ.

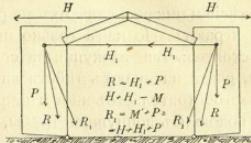


Рис. 49. Независимо дѣйствующіе външихъ усилий и частичныхъ силъ.

Но практика показывает, что подобные связи имѣютъ немаловажное значеніе на устойчивость сооруженія. Дѣйствительно, пока стѣны сохраняютъ свое равновѣсіе и никакая сила ихъ не разъединяетъ, связи роли не играютъ. Но какъ только появятся непредвидѣнныя обстоятельства, влекущія за собою нарушеніе равновѣсія, связи начинаютъ дѣйствовать. Такихъ непредвидѣнныхъ обстоятельствъ много: напримѣръ, подмываніе грунта водою изъ лопнувшей трубы, когда одна стѣна будетъ садиться неравномѣрно, наклонясь наружу; изломъ затяжки стропильной ноги на углу зданія и расширение вслѣдствіе этого стѣны и т. д.

Такія побочныя обстоятельства настолько чисты въ практикѣ, что закладываніе связей въ стѣны многоэтажныхъ домовъ безусловно рационально и объясняется вполнѣ правильной предосторожностью.

Устройство связей весьма различно, смотря по ихъ цѣли. Состоять онѣ изъ трехъ частей: 1) собственно связи или струны, 2) обуховъ или штырей и 3) стягивающихъ приспособлений.

Струны дѣлаются изъ полосового, круглаго и брускового желѣза. Толщина струны и штыря опредѣляется расчетомъ. Для прикрышенія штыря къ струнѣ въ послѣдней имѣется проушина, въ которую штырь и входить. Чтобы струна была хорошо натянута при задѣлкѣ штыря, послѣдняя натягивается веревками за штыри и въ такомъ положеніи обкладывается камнемъ и заливается цементнымъ растворомъ; только послѣ отвердѣнія раствора освобождаются веревки. Вмѣсто этого гораздо рациональнѣе дѣлать струны съ винтовою нарабѣзкой на одномъ или двухъ концахъ и затѣмъ натягивать ихъ посредствомъ гайки (рис. 50). Когда не имѣется желѣза достаточной длины (для струны), то два куска соединяются посредствомъ обуховъ съ проушинами или посредствомъ сварки. Послѣдній способъ нельзя рекомендовать



Рис. 50. Винтовая нарабѣзка и гайка для натягивания связи.

въ виду того, что сварка можетъ быть не всегда хороша, и струна въ этомъ мѣстѣ можетъ разорваться. Толщину же обуховъ можно точно определить.

Другой видъ связей употребляется въ тѣхъ случаяхъ, когда нежелательно, чтобы онѣ были видимы въ отверстіи арки. Тогда ихъ закладываются выше пять (рис. 51). Полезное дѣйствіе такихъ связей, несмотря на длинные штыри, довольно незначительно и полагаться на такія связи иногда вовсе нельзя. Поэтому прибегаютъ къ другому виду, а именно: дѣлаютъ въ концѣ связи длинный штырь и привязываютъ его къ струнѣ посредствомъ наклонной затяжки.

Струна здѣсь должна быть жесткая и потому на нее употребляютъ обыкновенно двутавровую балку. Эти связи при достаточныхъ размѣрахъ сбѣченій, очевидно, могутъ почти замѣнить видимыя связи, проложенные въ пятахъ, хотя не всегда.

Изъ опасенія, чтобы желѣзо не ржало, иногда штыри и струны покрываются полудою изъ олова* или масляной краской; такая предосторожность излишня, по крайней мѣрѣ, при кладкѣ на цементномъ растворѣ, такъ какъ цементъ прекрасно схватывается съ желѣзомъ и предохраняетъ послѣднее отъ дѣйствія кислорода воздуха; впрочемъ и въ известковомъ растворѣ желѣзо ржало бы гораздо менѣе, чѣмъ въ открытомъ мѣстѣ* и только по прошествіи нѣсколькихъ десятковъ лѣтъ ослабленіе связи отъ покрывшейся ржавчины становится замѣтнымъ.

Затѣмъ принято за правило закладывать связи при возвышенной температурѣ, чтобы, охлаждаясь онѣ лучше натягивались,—при этомъ раньше, чѣмъ закрѣплять штыри и задѣлывать связь, ее нужно уложить

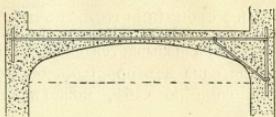


Рис. 51. Устройство связи, лежащей выше швыти арки или свода.

на деревянныя кобылки горизонтально и прямолинейно, иначе она отъ дѣйствія распора будетъ выпрямляться и не оказывать требуемаго сопротивленія.

Стѣнныя связи, при отсутствіи опредѣленного распора дѣлаются согласно опытамъ размѣрами $3'' \times 5\frac{1}{2}''$; штыри $1\frac{1}{2}'' \times 1\frac{1}{2}''$ дюйма.

26. Устойчивость и прочность сложныхъ опоръ.

Опора называется сложной въ томъ случаѣ (рис. 52), когда одна изъ простыхъ опоръ *A*, будучи неустойчивой сама по себѣ, можетъ быть слѣдомъ устойчивой,

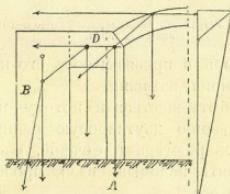


Рис. 52. Сложная опора и ея расчетъ.

причёмъ опора *A* будетъ носить на себѣ только собственный грузъ безъ сопротивленія грузу большой арки, хотя послѣдняя повидимому, на ней лежитъ.

Совершенно особый случай будемъ имѣть тогда, когда всѣ части *ABD* представляютъ не только монолитную массу, но и массу достаточно прочную, чтобы никогда не происходило перелома; въ этомъ случаѣ объ опоры (столбъ и стѣна) могутъ быть рассматриваемы, какъ одна простая опора, и соответственно этому можетъ быть опредѣлено напряженіе на плошадь основанія по правилу Мора. Но такой случай въ практикѣ строительной дѣла почти не встрѣчается, и поэтому останавливаться на этомъ случаѣ мы не будемъ.

Къ сложнымъ опорамъ относятся между прочимъ контрафорсы съ арками; разсчетъ тѣхъ и другихъ одинаковъ.

27. Контрафорсы съ арками.

Когда простая опора недостаточно устойчива, то для осуществленія въ натурѣ сооруженія, необходимо или уничтожить боковая усиливъ или увеличить размѣры самой опоры. Первое достигается желѣзными связями, второе — устройствомъ контрафорсовъ. Но чтобы эти контрафорсы не придавали сооруженію тяжелаго, неуклюжаго вида, ихъ стараются дѣлать ажурными. Наружный видъ такихъ контрафорсовъ въ соборѣ въ Бовѣ показанъ на рисунѣ 53, изъ котораго видно, что контрафорсъ состоитъ изъ ряда арокъ, размѣщенныхъ такъ, что боковое усиление, дѣйствующее на стѣну, переходитъ на нихъ, причемъ устойчивость всего сооруженія значительно увеличивается.

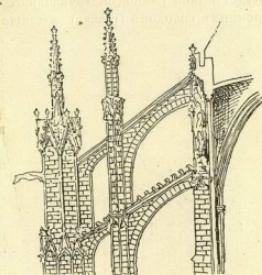


Рис. 53. Контрафорсная опора церкви въ Бовѣ.

Форма арокъ въ контрафорсахъ обыкновенно однополая, слѣдовательно, несимметричная, и направляющая кривая всегда описана изъ одного центра.

Что касается до мѣста, где должна приходить вершина контрафорсной арки (рис. 54),

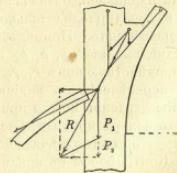


Рис. 54. Опредѣленіе условій, переходящихъ на контрафорсную арку.

то это зависитъ отъ высоты пять внутреннихъ сводовъ и арокъ, распору которыхъ она должна сопротивляться. Обыкновенно дѣлаютъ вершину у пять постлѣднихъ. Контрафорсная арка замѣняетъ собою связь, представляя сопротивленіе снаружи, почему форма и размѣры ея вполнѣ зависятъ отъ степени устойчивости опоры, въ помощь къ которой она возведена.

Возьмемъ численный примеръ расчета такой арки. Пусть будетъ дана равнодѣйствующая R отъ груза и распора внутреннихъ сводовъ (рис. 55), а также высота и размѣры устоевъ, не

который переходитъ эта равнодѣйствующая, причемъ требуется определить форму и размѣры контрафорса съ аркой, удовлетворяющихъ условіямъ равновѣсія.

Для этого перенесемъ на планъ силъ величины равнодѣйствующей R и распора H . Очевидно, контрафорсная арка должна обладать такимъ распоромъ, чтобы равнодѣйствующая R разложилась на R_1 и R_2 , причемъ направление R_1 должно быть нормально къ первому шагу контрафорсной арки. Проведя R_1 на планъ силъ, получимъ величину груза P_3 , переходящаго отъ

стѣнъ на арку. Затѣмъ предположимъ форму контрафорсной арки найденной, назначаемъ центръ тяжести элементовъ P_1, P_2, P_3 , и т. д. (приблизительно) а также вѣса ихъ (приблизительно) на планъ силъ. Принявъ распоръ H за полусное разстояніе, соединимъ вѣса P_1, P_2, P_3 и т. д. съ распоромъ и параллельно равнодѣйствующимъ r_1, r_2, r_3, \dots проводимъ линію изъ точки a до пересеченія съ линіями P_1, P_2, P_3 и т. д. Тогда полученную линію давленія можно принять за среднюю линію арки и отыскать центръ кривизны; величину же нагрузки проектировать такъ, чтобы она отвѣчала величинѣ принятыхъ силъ P_1, P_2, P_3 и т. д.

Контрафорсы съ арками могутъ быть красиво обработаны и придаютъ зданіямъ чрезвычайно характерную легкую форму, почему ихъ всегда слѣдуетъ предпочитать связямъ, конечно, если это допускается стилемъ сооруженія.

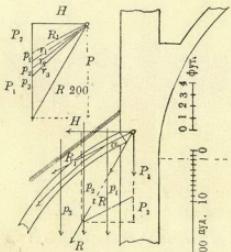


Рис. 55. Определение кривизны контрафорсной арки.

IV. Карнизы и пояски.

28. О карнизахъ вообще.

Карнизъ, какъ и цоколь, имѣть двоякое назначеніе: эстетическое и конструктивное. Чтобы карнизъ удовлетворялъ первому назначению, необходимо, чтобы онъ былъ извѣстной высоты и выноса или чтобы между высотою стѣнъ и карнизовъ существовало извѣстное соотношеніе. Что касается конструктивнаго назначения карниза, то оно заключается въ томъ, чтобы предохранить стѣны отъ вредныхъ атмосферныхъ осадковъ, особенно отъ воды, стекающей съ крыши. Извъ конструктивнаго назначения слѣдуетъ, что карнизъ долженъ быть какъ можно большого выноса, но эта величина ограничивается требованіемъ эстетическимъ, какъ и высота цоколя.

Матеріалъ для карниза можетъ служить какъ камень и кирпичъ, такъ и дерево и металлы, при чёмъ форма или профиль карниза зависитъ отъ стиля, въ которомъ возводится сооруженіе.

По своей конструкціи карнизы могутъ быть двоякаго рода: матеріалъ карнизовъ или испытываетъ только сжимающій и перерѣзывающій усилия или матеріалъ карниза испытываетъ усилие изгибающее. Въ послѣднемъ случаѣ онъ долженъ имѣть достаточное сопротивленіе изгибу, чтобы прочность его была гарантирована. Карнизы, въ которыхъ дѣствуютъ однѣ сжимающія или срѣзывающія усилия, называются простыми, а остальные—висячими.

Говоря о дѣйствіи усилий въ карнизѣ, нужно понимать это такъ, что наибольшая опасность разрушенія является или отъ изгиба, или отъ скатія и срѣзываанія, такъ какъ изгибающее усилие, хотя бы и очень незначительное, будетъ существовать во всѣхъ свѣщающихся частяхъ, какой бы величины или вида эти части ни были.

29. Простые карнизы и пояски.

Когда карнизъ по выносу не великъ, то онъ можетъ быть сложенъ изъ кирпича, постепенно съѣши-вающагося одинъ противъ другого (рис. 56).

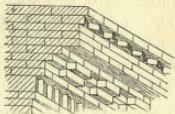


Рис. 56. Простой кирпичный карнизъ.

выходитъ изъ средней трети толщины стѣны.

Это необходимо соблюдать во всѣхъ случаяхъ, когда не желательно производить болѣе подробного расчета, позволяющаго иногда нѣсколько отступать отъ означенного правила.

Часто для красоты выпускаютъ не сплошь всѣ ряды кирпича, а только часть, образуя выступы или такъ называемыя консоли (рис. 57). Разстояніе между по-слѣдними должно быть таково, чтобы возможно было перекрыть его цѣлымъ кирпичемъ или другимъ какимъ либо камнемъ. Если это разстояніе значительно, то можно перекрыть выступы арочками, и тогда получимъ карнизъ, имѣющій видъ, показанный на рисункѣ 58.

Кирпичные карнизы употребляются какъ при стѣ-

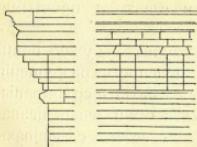


Рис. 57. Карнизы на кирпичныхъ консоляхъ.

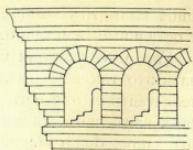


Рис. 58. Карнизы на кирпичныхъ консоляхъ съ арками.

нахъ со штукатуркой, такъ и при стѣнахъ съ облицо-вочнымъ кирпичемъ. Достоинство этихъ карнизовъ—ихъ дешевизна и простота въ кладкѣ, а недостатокъ сравнительно съ другими—это незначительный выносъ и довольно скучная линія профиля, почему мы и встрѣ-чаемъ эти карнизы обыкновенно въ сооруженіяхъ, не отличающихся высокими художественными достоин-ствами, хотя, конечно, есть и замѣчательные примѣры удачного примѣненія такихъ карнизовъ.

Къ простымъ карнизамъ слѣдуетъ отнести и всякие другіе сплошныя во всю длину зданія горизонтальные выступы. Таковы разнаго рода пояски, тяги и т. д.

Всѣ они отличаются отъ кар-низа тѣмъ, что не служатъ верхней конечностію стѣны, а проходять въ стѣнѣ на разной высотѣ, служа обыкновенно для наружного отдѣ-ленія одного этажа отъ другого (рис. 59).

Къ типу простыхъ карнизовъ слѣдуетъ отнести, наконецъ, такие, которые покоятся на каменныхъ консоляхъ, которые замѣняютъ собою кирпичные выступы и закладываются въ стѣну на ребро (рис. 60). Вмѣстѣ съ тѣмъ этотъ видъ карнизовъ служитъ какъ бы переходомъ отъ простыхъ карнизовъ къ сложнымъ, такъ какъ, напримѣръ, классическіе (ко-ринфскаго ордена) карнизы съ консолями по конструкціи ничѣмъ не отличаются отъ приведенныхъ выше.

Особенаго вниманія заслуживаетъ кладка карнизовъ на наружныхъ углахъ зданія. Дѣло въ томъ, что если кирпич по линіи стѣны можно выпустить почти на половину его длины съ тѣмъ, чтобы сохранилось хотя бы мгновенное равновѣсіе, то кирпичъ или камень на углу зданія ни въ коемъ случаѣ настолько

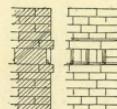


Рис. 59. Пояски.

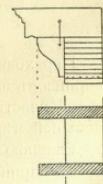


Рис. 60. Карнизы на каменныхъ консоляхъ.

выпущены быть не могут. Действительно, какъ видно на рисункѣ б1, угловые выступы задерживаются незначительной кладкой стѣны выше камня и потому легко могутъ опрокинуться.

Еще больше это замѣчаніе относится къ зданіямъ съ острыми углами (рис. 62), такъ какъ выносная часть камней здесь еще больше сравнительно съ частью, лежащей на стѣнѣ. Въ болѣе же выгодныхъ условіяхъ находятся углы тупы (рис. 63), причемъ переходными будутъ углы съ закругленіемъ (рис. 64). Всѣ эти обстоятельства иногда значительно усложняютъ

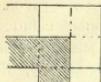


Рис. 61. Угловыя плиты и ихъ устойчивость.

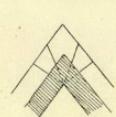


Рис. 62. Карнизная плита при остромъ углѣ дома.



Рис. 63. Карнизная плита при тупомъ углѣ дома.



Рис. 64. Карнизная плита при полукругломъ углѣ дома.

кладку карнизовъ, а иногда даже служатъ косвенной причиной къ устройству карнизовъ съ небольшимъ выносомъ вообще.

30. Висячіе карнизы.

Переходя къ разсмотрѣнію устройства висячихъ карнизовъ замѣтимъ, что все излагаемое ниже объ ихъ устойчивости и прочности относится въ большой или меньшей мѣрѣ къ карнизамъ простымъ.

Главно въ конструктивномъ отношеніи частью этихъ карнизовъ является, такъ называемая, спусковая плита, т. е. камень значительныхъ размѣровъ, лежащий одновременно на стѣнѣ и способный нести на концѣ своеемъ извѣстный грузъ безъ опасенія въ томъ, что этотъ конецъ можетъ отломаться. Принимая во вниманіе, что камень вообще плохо сопротивляется излому,

приходится дѣлать толщину спусковыхъ плитъ довольно значительной, если выносъ или спускъ его великъ, такъ что величина выноса или свѣщающейся части особенно въ углахъ будетъ въ прямой зависимости отъ толщины плиты и прочности материала, изъ котораго она приготовлена.

Болѣе выгодно и рационально было бы дѣлать карнизные плиты изъ дерева или желѣза. Но дерево скоро гниетъ и плохо держитъ штукатурку, а желѣзо совсѣмъ не пригодно, такъ какъ быстро ржавѣетъ и сплошными плитами дорогъ. Вмѣсто этого, какъ увидимъ ниже, дѣлаются при слабыхъ каменныхъ плитахъ карнизы на концахъ желѣзныхъ балокъ, выпускаемыхъ для этой цѣли изъ стѣнъ.

Простѣйший видъ висячаго карниза представляется собою камень по высотѣ своей годный для того, чтобы на немъ можно было сдѣлать всѣ необходимыя профили (рис. 65). Случай такой встрѣчается очень рѣдко и исключительно при облицовкѣ стѣнъ штучными камнями изъ песчаника, гранита и проч.

Въ большинствѣ же случаевъ камень или плита настолько тонки, что могутъ служить только для небольшой части карниза. Очевидно, въ послѣднемъ случаѣ другая часть, лежащая выше, будетъ поддерживаться этой плитой, а ниже лежащіе профили получатся, какъ обыкновенные пояски, выпусккомъ кирпича (рис. 66).

Равновѣсіе карниза можетъ быть достигнуто двоякимъ способомъ: или грузомъ, лежащимъ выше спусковой плиты, или грузомъ стѣны ниже этой плиты. Въ первомъ случаѣ

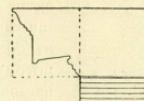


Рис. 65. Простой висячий карнизъ изъ цельного камня.

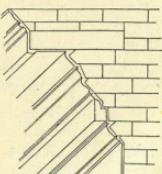


Рис. 66. Простой висячий карнизъ съ кирпичными переходами.

часть плиты, приходящаяся на стѣну, нагружается настолько, чтобы свѣшиваемая часть груза была значительно меньше груза, лежащаго на стѣнѣ, т. е. такъ, чтобы центръ тяжести всего груза не выходилъ изъ одной трети толщины стѣны (рис. 67). Во второмъ случаѣ плита связывается со никелелажающей складкой скобой или болтомъ такой длины, чтобы захватываемая этой скобой часть стѣны была значительно больше свѣшиваемаго груза, если сверхъ плиты нѣтъ другой нагрузки (рис. 68).

Рассмотримъ болѣе подробно первый случай. Чтобы положить плиту на мѣсто, если часть ея, лежащая на стѣнѣ, меньше части свѣшивющейся со стѣнѣ, необходимо ее сейчасъ же нагрузить или поддержать другими какими-нибудь средствами. Немедленная нагрузка въ большинствѣ случаевъ невозможна, а потому для поддержанія карниза до того времени, какъ онъ будетъ загруженъ, дѣлаютъ подпорки, упирая ихъ въ стѣну наклонно (рис. 69) или дѣлаютъ особыя подставки, упирая ихъ на лѣса (рис. 70).

Рис. 68. Равновѣсие плиты, благодаря скобамъ.

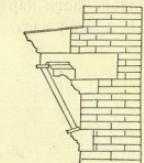


Рис. 67. Равновѣсие карнизныхъ плитъ отъ надѣтности.

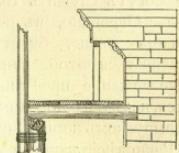


Рис. 70. Временная поддержка, упирающаяся на лѣса.

И тѣ и другія имѣютъ свои недостатки; первыя — тѣмъ, что, будучи въ наклонномъ положеніи при дѣйствіи

груса (рис. 71) развивають горизонтальную силу, какъ бы стаскивающую камень со стѣны; кромѣ того такая подпорка легко можетъ быть сшиблена, и помочь отъ нея явится уничтоженной. Второй способъ поддержанія карнизныхъ плитъ имѣетъ толь недостатокъ, что при сотрясеніи лѣсовъ и подмостковъ, всегда почти неизбѣжныхъ, они расшатываются уложенные плиты и нарушаютъ этимъ прямолинейность и горизонтальность ихъ. Поэтому, лучше дѣлать подпорки первого вида и для предохраненія ихъ отъ паденія пришипливъ подпорки къ брусьямъ или доскамъ, выпущеннымъ изъ оконъ верхняго этажа.

Рис. 71. Несостоякое наклонныхъ подпорокъ при укладкѣ карнизныхъ плитъ.

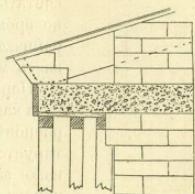


Рис. 72. Устройство бетонныхъ карнизныхъ плитъ.

При устройствѣ бетонныхъ карнизныхъ плитъ (рис. 72), дѣлается сплошная опалубка до нижней линии плиты, и, приложивъ съ боку щитъ вдоль карниза, набиваются бетонную массу, толщиною въ 3 и болѣе вершковъ, ст профилями карниза или безъ нихъ — по желанію. Когда вся масса окрѣпнетъ, дѣлаютъ загрузку и послѣ уложенія стропиль и обрешетки послѣднихъ снимаютъ опалубку; получится карнизъ весьма ровный и прочный.

Иногда къ числу грузовъ, удерживающихъ плиту, причисляютъ грузъ крыши, передаваемый мауэрлатомъ. Но такое причисленіе можетъ имѣть самыя печальные послѣдствія. Дѣло въ томъ, что если каменная загрузка не въ состояніи удержать карнизъ отъ опрокидыванія, то

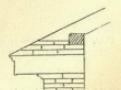


Рис. 73. Опакное равновѣсие при нагрузкѣ стропильн.

(рис. 73), во время пожара весь карнизъ можетъ обрушиться. Поэтому, если по какой либо причинѣ загрузка плиты сверху недостаточна, слѣдуетъ приводить ее въ равновѣсіе посредствомъ нежелажащаго груза, какъ будеть указано далъше.

Довольно часто случается такъ, что имѣютъ спусковыя плиты не широкія, но длинныя во всю толщину стѣны, причемъ плиты эти значительной прочности. Въ этомъ случаѣ для экономіи поступаютъ такимъ образомъ: кладутъ плиты по очереди тычкомъ и логомъ, причемъ логи поддерживаются тѣмъ, что опираются на концы тычковъ (рис. 74). Очевидно, въ послѣднихъ для этой цѣли должны быть вынуты небольшие пазы, а у логовъ оставлены соотвѣтственные выступы.

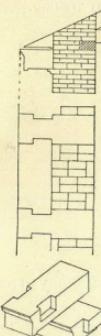


Рис. 74. Карнизы изъ естественнаго камня.

Наиболѣе простой примѣръ такого карниза показанъ на рис. 75. Для этого на определенной высотѣ стѣны закладываютъ болтъ, имѣющій на нижнемъ концѣ горизонтальный штырь, а на верхнемъ концѣ винтовую нарезку. Болтъ этотъ проходитъ черезъ отверстіе, сдѣланное въ плитѣ и сверхъ плиты на него навинчивается

гайка съ шайбой, которая и удерживаетъ плиту отъ опрокидыванія.

Гораздо выгоднѣе сверхъ плиты класть желѣзную балку, къ которой уже прикрепляются нѣсколько болтовъ на извѣстномъ разстояніи задѣланыхъ въ стѣну. Удобно это еще тѣмъ, что нѣтъ необходимости, чтобы число болтовъ равнялось числу плитъ; болтовъ можетъ быть гораздо меньше, такъ какъ балка, будучи скрѣплена, имѣть значительное сопротивленіе изгибающій силѣ.

Такъ какъ всякия желѣзныя скрѣпленія, особенно, если они находятся въ сыромъ мѣстѣ, очень быстро ржавѣютъ, то употребление ихъ въ каменной кладкѣ вообще нежелательно; исключение бываетъ для тѣхъ случаевъ, когда желѣзо покрывается полудой, или когда находится въ кладкѣ на цементномъ растворѣ, въ которомъ желѣзо менѣе подвержено измѣненію. Въ Италии еще въ эпоху ренессанса для карнизовъ со значительными свѣсами старались достигнуть тѣхъ же результатовъ, что желѣзными болтами, посредствомъ особыхъ какъ бы цѣпей изъ вертикально поставленныхъ каменныхъ брусковъ, сдѣлавшихся другъ съ другомъ въ видѣ зубьевъ. Таково устройство карниза въ палацо Строци (рис. 76).

Нельзя однако сказать, чтобы идея устройства подобныхъ карнизовъ была рациональной. Дѣло въ томъ, что камень вообще мало сопротивляется разрыву и излому, легко даетъ трещины какъ отъ ударовъ, такъ и перемѣнъ температуры, и потому карнизы, рассчитанные на

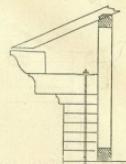


Рис. 75. Карниза плита, удерживаемая болтомъ.

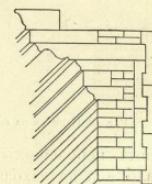


Рис. 76. Каменный карнизъ въ палацо Строци.

помощь такихъ скрѣплений, не могутъ считаться вполнѣ безопасными.

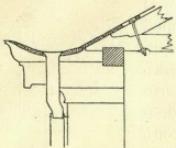


Рис. 77. Устройство водосточной трубы черезъ карнизъ.

Когда карнизъ съ очень большимъ выносомъ, то часто приходится водосточная трубы пропускать сквозь карнизовую плиту, чтобы колено трубы не было слишкомъ пологимъ или слишкомъ длиннымъ, плохо удерживаемымъ стременами (рис. 77).

31. Сложные карнизы.

Остается еще сказать о карнизахъ, устраиваемых на желѣзныхъ балкахъ, замѣняющихъ въ данномъ случаѣ самыя плиты. Очевидно, здѣсь также будутъ имѣть мѣсто два случая: когда вышележащая нагрузка достаточна для равногѣсія и когда этого нѣтъ. Въ первомъ случаѣ на высотѣ карнизной плиты располагаются тавровыя балочки во всю толщину стѣны. Сверху эти балочки загружаются, и, когда вся загрузка кончена,

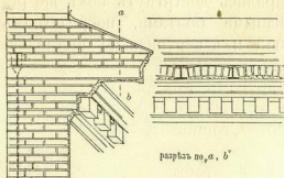


Рис. 78. Карнизъ на сложныхъ и балкахъ.

приступаютъ къ укладкѣ на свѣшивающихся концахъ балокъ сводиковъ изъ кирпича, на которыхъ уже кладутся остальные части карниза (рис. 78). Такимъ же образомъ можно устраивать карнизы изъ плитъ небольшихъ размѣровъ, лежащихъ на концахъ балокъ и не заходящихъ вовсе въ кладку стѣны. Во всѣхъ случаяхъ приходится обращать главное вниманіе на уголъ зданія, где равногѣсіе достигается труднѣ, чѣмъ въ другомъ мѣстѣ (рис. 79).

Во второмъ случаѣ балки должны быть скрѣплены съ частью нижележащей стѣны посредствомъ болтовъ и скобъ. Вообще же надо замѣтить, что карнизы на желѣзныхъ балкахъ слѣдуетъ дѣлать въ исключительныхъ только случаяхъ.

Что касается обдѣлки карнизовъ, то ихъ въ большинствѣ случаевъ штука-турятъ. Вытягивание профилей производится шаблонами, передвигаемыми по горизонтальному рейкамъ (рис. 80). Рекъ обыкновенно двѣ: одна сверхъ карниза, другая снизу; рейки, представляющія собою чисто и правильно выструганные бруски, прикрѣпляются къ стѣнѣ особыми скобками; шаблонъ, имѣющій въ нижней части горизонтальную раму, движется по нижней рейкѣ совершенно горизонтально; верхняя рейка служить для прижима къ ней шаблона.

Набрасывая на карнизъ растворъ, водятъ шаблономъ, который сдвигаетъ весь его излишокъ и даетъ раствору профилированную поверхность. Для лучшей тяги часто примѣшиваютъ въ растворъ але-

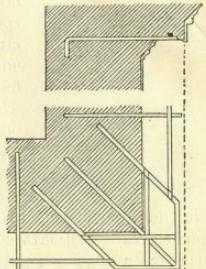


Рис. 79. Расположеніе желѣзныхъ балокъ для карнизовъ.

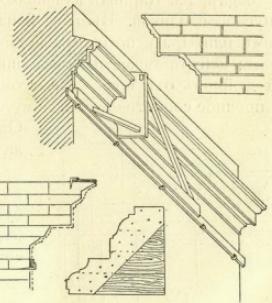


Рис. 80. Штукатурка кирпичныхъ карнизовъ.

басть. Но этот послѣдній отъ воды портится, и потому растворъ плохо держится на камнѣ. Во всякомъ случаѣ штукатуренные карнизы имѣютъ громадные недостатки, легко обсыпаются и часто служатъ причиной увѣчий, проходящихъ подъ ними. Въ виду этого стали применять въ некоторыхъ зданіяхъ облицовочные гончарные карнизы (рис. 81), укладываемые во время самой кладки стѣны. Карнизы эти въ общемъ весьма рациональны, пока не вошли въ употребленіе, такъ какъ ихъ приходится заказывать согласно проекту и потому они являются довольно дорогими,

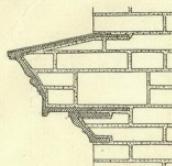


Рис. 81. Гончарные карнизы.

Рис. 82. Разсчетъ карнизовъ.

Задача I-я. Карнизъ каменнаго зданія поддерживается спусковой плитой. Весь всей нагрузки вмѣстѣ съ вѣсомъ плиты на погонный футъ карниза равенъ 9 пудамъ; центръ тяжести груза проходитъ на разстояніи 11 дюймовъ отъ края стѣны, толщина плиты 4 дюйма, а прочное сопротивление излому 2 пуда на 1 кв. дюймъ.

Опредѣлить, достаточна ли толщина плиты (рис. 82).

Рѣшеніе: Моментъ винѣшней силы очевидно будетъ $M = 9 \times 11 = 99$ пудодюймовъ. Моментъ сопротивления будетъ:

$$W = \frac{12 \times 4^2}{6} = 32.$$

Наибольшее напряженіе плиты равно

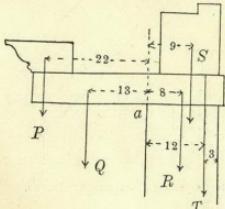


Рис. 82. Рассчетъ устойчивости и прочности винѣчаго карниза.

$$k = \frac{99}{32} = 3,1 \text{ пуда на 1 кв. дм.}$$

А такъ какъ плита обладаетъ по условію прочнымъ сопротивленіемъ только въ 2 пуда на 1 кв. дюймъ, то эта плита недостаточно толста. Возьмемъ ее толщину въ 5 дюймовъ.

Тогда:

$$W = \frac{12 \times 5^2}{6} = 50$$

и наибольшее напряженіе

$$k = \frac{99}{50} = 1,98 \text{ пуда.}$$

Это показываетъ, что плита въ 5 дюймовъ для данного карниза вполнѣ достаточна. Здѣсь надо, однако, имѣть въ виду сказанное въ § 26, III-ей части.

Задача II-я. Какой толщины надо заложить болтъ T , чтобы удержать карнизовую плиту, нагруженную силами: $P = 10$ пудовъ; $Q = 20$ пудовъ; $R = 15$ пудовъ; $S = 30$ пудовъ.

Относительно точки a опрокидывающіе моменты будутъ:

$$10 \times 22 + 20 \times 13 = 480 \text{ пудодюймовъ.}$$

Удерживающіе моменты будутъ:

$$15 \times 8 + 30 \times 9 = 390,$$

всего

$$480 - 390 = 90 \text{ пудодюймовъ.}$$

Плечо болта равно 12 дюймамъ, слѣдовательно, для мгновенного равновѣсія болтъ долженъ выдерживать силу не менѣе

$$T = \frac{90}{12} = 7,5 \text{ пуда.}$$

Обыкновенно же, закладывая болтъ, полагаютъ, что онъ долженъ удержать одинъ въ равновѣсіи весь кар-

низъ безъ нагрузки R и S ; въ этомъ случаѣ болтъ долженъ выдержать силу въ

$$T_0 = \frac{480}{12} = 40 \text{ пудовъ.}$$

Наконецъ, если бы желали, чтобы равнодѣйствующая всѣхъ силь не выходила изъ средней трети сѣченія стѣны, болтъ долженъ выдержать силу

$$T_1 = \frac{10(22+5)+20(13+5)}{12-5} = 90 \text{ пудовъ}$$

33. Деревянные и металлические карнизы въ каменныхъ домахъ.

Нерѣдко въ каменныхъ домахъ карнизы дѣлаются деревянными. Въ этомъ случаѣ большинство изъ нихъ представляютъ нижніе концы стропильныхъ ногъ, выпущенныхъ наружу, архитектурно обработанныхъ и покрытыхъ сверху опалубкой, видимой снизу, и кроевъ. Такимъ образомъ весь карнизъ состоится какъ бы изъ кронштейновъ, поддерживающихъ спуск крыши (рис. 83). Чаще всего такие карнизы встрѣчаются въ

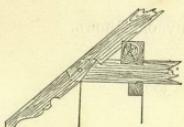


Рис. 83. Деревянный карнизъ съ кронштейнами.

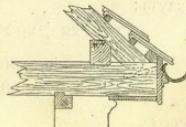


Рис. 84. Деревянный карнизъ съ обшивкой.

домахъ—особнякахъ, гдѣ длина карниза невелика, или въ зданіяхъ небольшой высоты.

Часто дѣлаютъ и такъ, что выпускаютъ деревянные балки и стропильные ноги, обшиваютъ ихъ, устраиваютъ профили и другія детали всѣ изъ дерева и окрашиваютъ подъ цвѣтъ зданія (рис. 84). Въ этомъ слу-

чаѣ карнизы особенно на высокихъ зданіяхъ, трудно отличить отъ чисто каменнаго карниза. Но такая конструкція, какъ и всякая другая фальшивая, не можетъ быть признана цѣлесообразной и допускается только въ самыхъ рѣдкихъ случаяхъ.

Металлические карнизы заключаются въ томъ, что выпускаютъ концы металлическихъ или деревянныхъ балокъ (или кобылки) и къ нимъ прикрепляютъ металлический карнизъ (изъ цинка, свинца или же латы) съ выгнутыми въ немъ профилями (рис. 85). Очевидно, такой карнизъ хорошо сохраняется, легко можетъ быть выкрашенъ въ любой цвѣтъ. Недостатокъ его въ томъ, что во время вѣтра замѣтно колебаніе тонкаго металлическаго листа и карнизъ обнаруживаетъ тогда свою искусственность.

Во время пожаровъ деревянные и металлические карнизы, по наружному виду похожіе на каменные, представляютъ значительную опасность, почему, строго говоря, не должны быть допускаемы.

34. Обдѣлка оконныхъ и дверныхъ отверстій. Сандрики и наличники.

Такъ какъ съ устройствомъ отверстій въ стѣнѣ послѣдня лишается, въ этихъ мѣстахъ непосредственной опоры, то для равногѣсія (рис. 86) необходимо перекрыть отверстіе аркой или перемычкой, передающей грузъ стѣны, лежащей надъ оконнымъ отверстіемъ, на столбы или простѣнки между окнами. Нижняя часть оконнаго отверстія называется подоконникомъ, абоковая часть отверстій, къ которымъ прис-

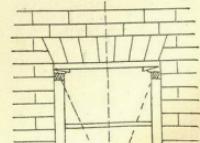


Рис. 86. Кладка перемычки въ окнахъ.

лоняются оконные или дверные рамы, называются притолками.

Мы видѣли (§ 11), что, когда кирпичные стѣны покрываются штукатуркой, то для получения наличниковъ достаточно выпускать собачки, между которыми заполненія дѣлаются передъ самой штукатуркой.

Для сандриковъ (рис. 87) необходимо выпускать кирпичи сплошными рядами на подобіе простыхъ карнизовъ или поясковъ. При этомъ для тески кирпича должны быть выдаваемы шаблоны по возможностіи простые, съ тѣмъ однако, чтобы разница въ толщинѣ намета

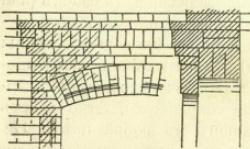


Рис. 87. Кирпичные наличники.

штукатурки не была велика, иначе штукатурка въ болѣе тонкихъ своихъ мѣстахъ высохнетъ скорѣе, и могутъ появиться въ штукатуркѣ нежелательная трещины и самая штукатурка обвалиться.

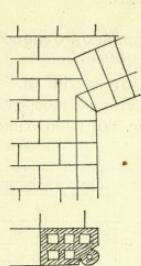


Рис. 88. Наличники изъ облицовочного кирпича.

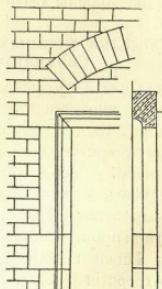


Рис. 89. Наличники изъ тесанаго камня.

Когда наличники и стѣны будутъ изъ облицовочнаго, лекальнаго кирпича, то, очевидно, послѣдній долженъ быть изготовленъ такихъ профилей, какія встрѣчаются въ проектѣ (рис. 88) или, наоборотъ, профиля наличниковъ, сандриковъ и карнизовъ должно проектироваться согласно имѣющимся профилямъ лекальнаго кирпича.

Обдѣлка оконъ и дверей штучными камнями производится по общимъ правиламъ кладки квадровыхъ камней; не слѣдуетъ только упускать изъ виду разгрузные арки, предохраняющія эти камни отъ излома, который можетъ произойти вслѣдствіе давленія сверху (рис. 89).

передняя и задняя; разстояние между ними составляет ширину арки (Z); длину же арки составляет разстояние между опорами, называемое пролетом (S). Пространство между аркой и опорой называется пазухой (*feʃq*); высота стрельки нижней направляющей кривой называется высотой арки или подъемом (h) и средний камень арки (g)—замочным или ключевым; рядъ замочныхъ камней составляет щель арки.

Линии или плоскости, лѣжащій арку на симметричные части, называются осями; отдельные камни арки—клины; швы, перпендикулярные къ щековымъ поверхностямъ—сопрягаемыми, а параллельные имъ—стыковыми. Кладка въ пазухахъ арки называется забуткой, а сверхъ арки—надбуткой. Когда отверстія, перекрытыя аркой, будутъ закрытыми, какъ напримѣръ въ окнахъ, дверяхъ и т. д., то арку называютъ перомычкой.

Арку считаютъ устойчивой въ томъ случаѣ, когда силы, дѣствующія въ ней, находятся въ равновѣсіи между собою и съ сопротивленіемъ опоръ; если при этомъ сопротивление материала, изъ котораго сложена арка, достаточно для того, чтобы материалъ этотъ не разрушался, то арка называется прочной.

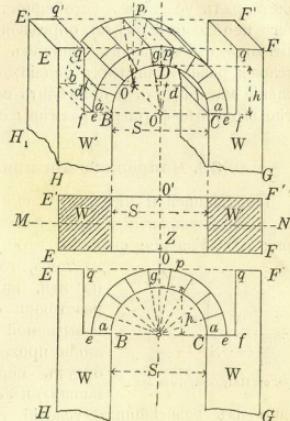


Рис. 90. Общий видъ арки.

Отдѣль II.

Арки и паруса.

I. Арки.

35. Объ аркахъ вообще. Перемычки.

Когда перекрываютъ какое-либо помѣщеніе въ зданіи небольшими кусочками камня или кирпичемъ, при чмъ эти камни удерживаются на мѣстѣ, не смотря на то, что ни одинъ изъ нихъ, кроме двухъ крайнихъ, не имѣть непосредственной точки опоры, то такое перекрытие называется сводчатымъ. Сводчатыя перекрытия раздѣляются на собственно своды арки и паруса. Арки представляютъ рядъ камней, сложенныхъ для перекрытия какого-либо проема въ стѣнѣ или между столбами. Камни при этомъ складываются такъ, чтобы швы были нормальны къ направляющей кривой и представляли усѣченные клинья. Форма направляющей кривой можетъ быть очень разнообразна, образуяющая въ большинствѣ случаевъ бываетъ прямой линией.

Получаемыя двѣ поверхности вращенія называются: одна верхней, другая нижней; нормальное разстояніе между ними ($p D$) составляетъ толщину арки (рис. 90). Стѣны, на которыхъ упирается арка или сводъ, называются опорами, а часть поверхности опоры, съ которой начинается арка—пятою ($e B d b$); шовъ между опорой и аркой, а также первый арочный камень (a), называются пятыми.

Плоскость арки, перпендикулярная къ образующей, называется щековой ($G H E F$). Плоскостей такихъ двѣ:

Поэтому, чтобы быть гарантированнымъ въ долговѣчности проектируемаго свода, необходимо умѣть прежде всего составить проектъ такъ, чтобы онъ удовлетворялъ условиимъ устойчивости и прочности, для чего необходимо умѣть: опредѣлять величины усилий, имѣющихъ мѣсто въ данномъ сводѣ и находить условія равновѣсія этихъ усилий; опредѣлять сопротивление материаловъ и примѣнять согласно этому наиболѣе выгодная формы и размѣры отдельныхъ частей.

36. Направляющая кривая арокъ.

Простѣйшей и вмѣстѣ съ тѣмъ наиболѣе древней формой направляющей арки является полуокружность (рис. 91). Главное свойство этой кривой заключается

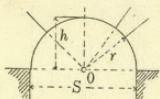


Рис. 91. Полуциркульная арка.

въ томъ, что всѣ точки, лежащія на ней, находятся на равномъ разстояніи отъ одной точки O , называемой центромъ, а прямая линія, проходящія черезъ центръ, будуть перпендикулярны (нормальны) къ окружности. Поэтому одно изъ важнѣйшихъ условій устойчивости арки, а именно, чтобы швы были по возможности нормальны къ направляющей кривой — достигается весьма просто тѣмъ, что швы дѣлаются по направлению къ центру.



Рис. 92. Пологая (лучковая) арка.

Кромѣ полной полуокружности, употребляютъ и часть ея или дугу, причемъ центръ кривизны лежитъ ниже начала арки (рис. 92). Можно описать двѣ дуги изъ двухъ центровъ, тогда получится такъ называемая стрѣльчатая кривая (рис. 93), форма которой можетъ быть очень разнообразна, смотря по положенію центровъ.

Стѣльчатую арку, имѣющую центры на концахъ

нижней направляющей, называютъ равносторонней (рис. 94), потому что замокъ и пяты составляютъ вер-

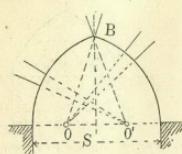


Рис. 93. Простая стрѣльчатая арка.

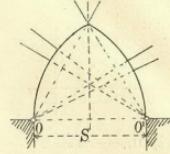


Рис. 94. Стрѣльчатая равносторонняя арка.

шины равносторонняго треугольника. Эта форма арки употребляется весьма часто. На рисункѣ 95 показана стрѣльчатая арка, имѣющая центры виѣ пролета арки.

Въ мавританскомъ стилѣ и въ среднѣхъ ему (арабскомъ и персидскомъ) встрѣчаетъ вышеприведенный кривыя характерной формы, благодаря тому, что берется часть окружности такъ, что начало арки лежитъ ниже центровъ кривизны (рис. 96). Отличительнымъ

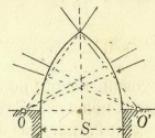


Рис. 95. Стрѣльчатая арка съ центрами виѣ пролета.

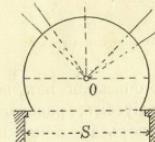


Рис. 96. Циркульная арабескная арка.

признакомъ арокъ въ означенныхъ стиляхъ служить и то, что въ нихъ появляется иногда прямолинейная часть (рис. 97), а иногда центровъ кривизны четыре, по два на разныхъ высотахъ (рис. 98). Въ готическомъ стилѣ эти центры лежать обыкновенно на одной горизонтальной линіи.

Изъ кривыхъ второго порядка встрѣчается въ строительномъ дѣлѣ одинъ лишь эллипсъ (рис. 99).

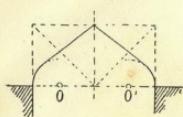


Рис. 97. Персидская арка.

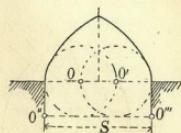


Рис. 98. Арка о 4-хъ центрахъ.

Кривая эта имѣть два фокуса. Радиусы векторы ея мѣняются такъ, что сумма ихъ для каждой точки, лежащей на кривой, равна посторонней величинѣ, а именно: большой оси. Эллипсъ чертится непрерывнымъ движениемъ острія (напр., карандаша) по ниткѣ или эллипсографу (рис. 100). Въ первомъ случаѣ находятъ

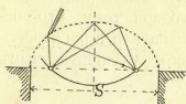


Рис. 99. Эллиптическая арка.

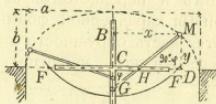


Рис. 100. Черченіе эллиптической арки эллипсографомъ.

фокусы, описывая изъ верхней точки малой полуоси дугу радиусомъ, равнымъ большей полуоси. Затѣмъ закрѣпляютъ два конца нити по длини, равной большей оси, въ фокусахъ. Натянувъ нить карандашемъ, описываютъ полуэллипсъ въ видѣ непрерывной линіи.

Эллипсографъ состоять изъ двухъ линеекъ, скрѣпленныхъ подъ прямымъ угломъ, по которымъ можетъ двигаться на кнопкахъ рычагъ MG имѣющій длину, равную большей полуоси, кнопки на разстояніи

$$GH = a - b,$$

гдѣ a —большая, b —малая полуось, т. е.

$$HM = b.$$

Если обозначимъ $MB = x$, $MD = y$, уголъ $BGM = \varphi$, причемъ $MHD = 90^\circ - \varphi$, то получимъ равенства:

$$x = a \sin \varphi \text{ и } y = b \cos \varphi,$$

или

$$x^2 = a^2 \sin^2 \varphi \text{ и } \frac{y^2}{b^2} = \cos^2 \varphi.$$

Возвышая послѣднія равенства въ квадратъ, получимъ:

$$\frac{x^2}{a^2} = \sin^2 \varphi \text{ и } \frac{y^2}{b^2} = \cos^2 \varphi.$$

Сложивъ оба равенства, имѣемъ:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1.$$

Такимъ образомъ получаемъ уравненіе эллипса, т. е. произвольная точка M на концѣ рычага будетъ описывать эллиптическую кривую.

Вычерчиваніе эллипса по точкамъ заключается въ определеніи нѣсколькихъ точекъ, лежащихъ на этой кривой; затѣмъ отъ руки, при помощи лекала соединяютъ полученные точки линіей.

Способомъ построенія точекъ эллипса очень много, благодаря разнообразнымъ свойствамъ этой кривой. Мы опишемъ только нѣсколько изъ нихъ.

1-й способъ. Онъ заключается въ томъ, что описываютъ изъ двухъ фокусовъ дуги такъ, чтобы сумма радиусовъ была равна большой оси (рис. 101), причемъ фокусы находять такъ же, какъ при вычерчиваніи по ниткѣ.

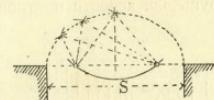


Рис. 101. Черченіе эллиптической арки по точкамъ.

2-й способъ. Онъ основанъ на томъ свойствѣ, что ордината эллипса есть четвертая пропорциональная между ординатой круга, описанного радиусомъ большимъ большой полуоси, и двухъ полуосей: большой и малой (рис. 102),

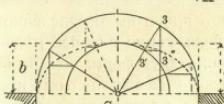


Рис. 102. Черченіе эллиптической арки по проекциямъ.

а потому, взявъ любую точку (напр. з) на большомъ кругѣ, опускаемъ перпендикуляры на большую ось и соединяемъ ту же точку съ центромъ. Изъ точки з' проводимъ линію, параллельную большой оси; тогда точка з'' будетъ принадлежать эллипсу.

3-й способъ. Дѣлимъ обѣ полуоси на равное число равныхъ частей (рис. 103); возставимъ изъ точекъ 1, 2, 3... перпендикуляры до пересѣченія съ окружностью, описанной изъ точки (1) радиусомъ равнымъ малой полуоси, проводимъ изъ точекъ пересѣченій горизонтальная линія, которая пересѣкътъ перпендикуляры большой полуоси въ точкахъ, принадлежащихъ эллипсу.

Этотъ послѣдній способъ построенія кривыхъ одинъ изъ самыхъ общихъ и потому часто употребляется въ практикѣ. Онъ годенъ и для кривой, имѣющей наклонную ось, какъ видно на рисункѣ 104, где малый кругъ для ясности построено отдельно.

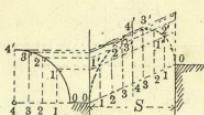


Рис. 103. Построение полувѣтчины эллиптической арки.

Кладка арки по эллиптической кривой представляетъ то неудобство, что нормальные къ направляющей кривой швы идутъ не въ одну точку, а дѣлять углы между радиусами—векторами пополамъ, слѣдовательно, центровъ кривизны безчисленное множество. Вотъ почему точная форма эллипса рѣдко встрѣчается при кладкѣ арокъ, хотя форма эта весьма удобна при штукатуркѣ. Чтобы получить поэтому кривую по возможности близкую къ эллипсу, но составленную изъ частей окружности, описанныхъ различными радиусами изъ различныхъ центровъ, пользуются нѣкоторыми построеніями

для опредѣленія этихъ центровъ. Кривыя, получаемыя такимъ образомъ, въ отличие отъ точной формы эллипса называются **коробовыми**.

Чтобы получить эту кривую вычитаемъ меньшую полусь изъ большей (рис. 105); дѣлимъ остатокъ поддамъ (a); откладываемъ четыре такія части отъ центра внизъ по малой оси и три по большой. Тогда получимъ три центра O_1 , O_2 , O_3 .

Коробовая кривая болѣе чѣмъ изъ трехъ центровъ рѣдко употребляется въ практикѣ; если является къ тому необходимости, то проводить отъ руки эту кривую и затѣмъ опредѣлять центры какъ бы ощущуя, на глазъ.

Очевидно, что при одномъ и томъ же пролѣтѣ и выносѣ коробовая кривыя могутъ имѣть разную форму, въ зависимости отъ числа и положенія взятыхъ центровъ (рис. 106).

Иногда требуется коробовую кривую начертить такъ, чтобы два круга, описанные на большой полуоси, касались другъ друга и при этомъ служили частью коробовой кривой (рис. 107). Въ этомъ случаѣ дѣлять большую ось на 4 части и получаютъ 2 центра непосредственно, а третій получаютъ построениемъ равностороннаго треугольника со сторонами, равными большей полуоси.



Рис. 105. Построение коробовой кривой изъ трехъ центровъ.

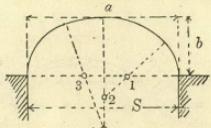


Рис. 106. Различные виды коробовых кривых при одинаковомъ и томъ же пролѣтѣ и выносе.

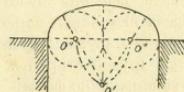


Рис. 107. Построение коробовой кривой, касающейся окружности.

37. О кружалахъ вообще.

Кладка арокъ производится по кружаламъ, которая служить не только для образования нижней направляющей кривой арки, но и для того, чтобы поддерживать отдельные камни арки до тѣхъ поръ, пока не будетъ положенъ замочный камень. Для удовлетворенія послѣдней цѣли кружала должны быть достаточной прочности и по возможности неизмѣняемы. Дѣло въ томъ, что при кладкѣ арочныхъ камней, кружала нагружаются не сразу, а постепенно, и если при устройствѣ ихъ это обстоятельство не будетъ принято во вниманіе, то арка окажется въ концѣ концовъ не той формы, какой предполагалась и, кроме того, вслѣдствіе надавливанія камней, сперва близъ пятъ, кружала сокрушаются и сдѣлаются болѣе крутыми (рис. 108); при дальнѣйшей нагрузкѣ кружала, наоборотъ, — сдѣлаются болѣе плоскими и будуть вытираять камни, лежащіе около пятъ. Такимъ образомъ кружала и лежащая на нихъ арка будутъ постоянно измѣнять свою форму. Слѣдствіемъ этого появятся трещины въ аркѣ, и вся она будетъ сомнительной устойчивости. Отсюда вытекаетъ первое условіе устройства кружала, а именно: **кружала должны быть неизмѣняемы по формѣ**. Но съ другой стороны, если мы сдѣлаемъ кружала неизмѣняемыми по формѣ, то по окончаніи арки растворъ, высихая, будетъ уменьшаться въ объемѣ, а слѣдовательно швы между камнями раскроются.

Поэтому необходимо кружала устраивать такъ, чтобы можно было ихъ опускать и подымать, по желанію. Само собою понятно, что наибольшая осадка арки при

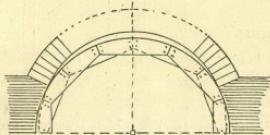


Рис. 108. Деформація кружала полупарусальной арки.

наибольшой нагрузкѣ кружала, наоборотъ, — сдѣлаются болѣе плоскими и будуть вытираять камни, лежащіе около пятъ. Такимъ образомъ кружала и лежащая на нихъ арка будутъ постоянно измѣняться свою форму. Слѣдствіемъ этого появятся трещины въ аркѣ, и вся она будетъ сомнительной устойчивости. Отсюда вытекаетъ первое условіе устройства кружала, а именно: **кружала должны быть неизмѣняемы по формѣ**. Но съ другой стороны, если мы сдѣлаемъ кружала неизмѣняемыми по формѣ, то по окончаніи арки растворъ, высихая, будетъ уменьшаться въ объемѣ, а слѣдовательно швы между камнями раскроются.

Поэтому необходимо кружала устраивать такъ, чтобы можно было ихъ опускать и подымать, по желанію. Само собою понятно, что наибольшая осадка арки при

высыханіи раствора будетъ въ замкѣ, такъ какъ число швовъ отъ пятъ до замка больше, чѣмъ въ какомъ либо другомъ сѣченіи арки; вмѣстѣ съ тѣмъ понятно, что если въ двухъ аркахъ одной и той же формы и пролета число швовъ не одинаково, то въ аркѣ съ большимъ числомъ швовъ осадка больше. Отсюда вытекаетъ правило, по которому швы въ аркахъ необходимо дѣлать по возможности тоньше. Вмѣстѣ съ тѣмъ все это показываетъ, что невозможно точно опредѣлить величину самой осадки.

Для практическихъ цѣлей можно пользоваться для опредѣленія осадки въ замкѣ слѣдующей формулой:

$$m = k(s - h)$$

гдѣ m величина осадки замка; s — пролѣтъ арки; h — высота; величина же k есть численный коэфіциентъ, получаемый изъ опредѣленія осадки вертикальныхъ стѣнъ. Эта величина k измѣняется отъ 0,02 до 0,05 саж., смотря по тщательности кладки и по числу швовъ. Если, напр., кладка производится изъ кирпича толщиною въ $1\frac{1}{2}$ вершка и на 1 саж. стѣны приходится 28 рядовъ кирпича, то $k=0,01$ саж.; въ послѣднемъ случаѣ толщина всѣхъ слоевъ раствора вмѣстѣ равна $48-28 \times 1,5=6$ вершкамъ. Очевидно, если въ сажени будеть только 24 ряда кирпича, то швы составятъ $48-24 \times 1,5=12$ вершковъ, и, слѣдовательно, $k=0,02$ саж.

Во всякомъ случаѣ не слѣдуетъ дѣлать швы при известковомъ растворѣ меньше $\frac{1}{8}$ вершка.

Обыкновенно принять считать осадку кружала въ замкѣ полукруглыхъ арокъ равной $1/144$ пролета, а для пологихъ $1/96$ пролета.

Но кроме осадки во время самой кладки, арка измѣняетъ свою форму и послѣ раскружаливания. Величину осадки послѣ раскружаливания еще труднѣе опредѣлить точно, такъ какъ она зависитъ отъ степени затвердѣнія раствора, отъ сжатія кладки въ пятахъ и отъ скольженія послѣднихъ. Въ среднемъ можно считать

осадку замка послѣ раскружалівания равной о,ог пролета.

Такимъ образомъ, вопросъ о конструкціи кружаль сводится къ тому, чтобы сдѣлать ихъ неизмѣняемыми, но вмѣстѣ съ тѣмъ является необходимость ихъ тотъ-чаше же раскружалывать или опускать на величину осадки въ замкѣ. Это опусканіе кружала достигается несколькими способами: посредствомъ клиньевъ, мѣшковъ и цилиндровъ стъ пескомъ, винтовъ и т. д.

Дѣлая кружала неизмѣняемыми, необходимо дать имъ такую форму, чтобы арка послѣ осадки получила форму, показанную въ проектѣ. Для этого, самое практическое будетъ повысить кривую арки у кружала (рис. 109). Когда же нѣтъ цѣли дѣлать кружала неизмѣняемыми, напр., при штукатурныхъ стѣнахъ, то просто подымаютъ пяты кружала на величину $\frac{1}{100}$ пролета, а неправильность формы при осадкѣ исправляютъ штукатуркой.

Такимъ образомъ, приступая къ устройству кружала, необходимо иметь въ виду, кроме размѣровъ арки и запаса для осадки, также толщину опалубки кружала, которая дѣлается обыкновенно изъ дюймовыхъ досокъ.

Чтобы вычертить кривую для кружала (рис. 110) устраиваютъ горизонтальную досчатую площацку (баекъ); затѣмъ плотникъ вычертываетъ направляющую кривую по воробѣ или причалкѣ. Напримѣръ, когда арка будетъ полу- круглой, то плотникъ, взявъ съ натуры

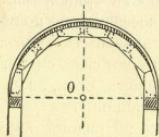


Рис. 109. Запасъ въ подъемѣ кружала.

дѣльцовъ арки и запаса для осадки, также толщину опалубки кружала, которая дѣлается обыкновенно изъ дюймовыхъ досокъ.

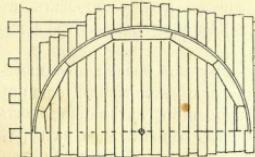


Рис. 110. Разбивка кружала на байкѣ.

величину пролета, назначаетъ по срединѣ центръ и описываетъ полуокружность. Когда же арка будетъ пологой, то плотнику дается выносъ и пролетъ, и онъ отыскиваетъ центръ, какъ показано на рис. 111. При коробовыхъ кривыхъ необходимо давать пролетъ, наибольший радиусъ кривизны и выносъ; центры отыскиваютъ самъ плотникъ, взявъ гвоздь и прикрепляя его на большой оси въ такомъ мѣстѣ, чтобы конецъ наибольшаго радиуса кривизны при загибѣ оказался въ концѣ большой оси (рис. 112), т. е. чтобы разстояніе отъ гвоздя до кривой арки по линии наибольшаго радиуса равнялось разстоянію отъ гвоздя до ближайшаго конца большой оси. При эллиптической кривой задается пролетъ и выносъ, а фокусы отыскиваются на байкѣ.

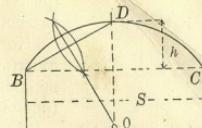


Рис. 111. Определение центра пологой арки.

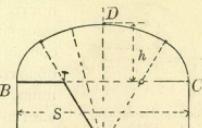


Рис. 112. Построение на байкѣ коробовой кривой для арки.

38. Устройство кружала и установка ихъ.

Кружала состоятъ изъ трехъ частей: стоекъ, реберъ и опалубки. Начертивъ на байкѣ направляющую кривую арки, согласно пролету и выносу, вычертываютъ другую направляющую меньшаго размѣра на толщину опалубки и затѣмъ уже тешутъ доски согласно по слѣдней кривой.

Конструкція кружала зависитъ отъ величины пролета арки, а также отъ величины нагрузки на послѣднюю. Мы разсмотримъ ихъ послѣдовательно, начиная съ пролетовъ самыхъ маленькихъ.

а) Пролетъ арки не болѣе 0,5 сажени. Для полукруг-

лыхъ арокъ въ этомъ случаѣ кружалыя ребра дѣлаются изъ двухъ косяковъ (рис. 113), или сплошными (рис. 114). Въ томъ и другомъ случаѣ употребляются $2\frac{1}{2}$ -дюймовая доски.

Когда арки пологи, то ребра можно дѣлать изъ одной доски, обтесывая верхній край по направляющей дугѣ (рис. 115).

Установка кружала производится такъ: подъ концы реберъ, которыхъ бываетъ не менѣе двухъ, кладутъ двѣ стойки, а на нихъ поперечную $2\frac{1}{2}$ -дюймовую доску и уже на эту доску ставятъ ребра. Верхняя поверхность доски должна находиться на высотѣ пять. Когда кружалыя ребра состоять изъ косяковъ, то послѣдніе обязательно должны быть связаны внизу затяжкою, на которой забиваются гвозди, служащій центромъ кривизны; къ этому гвоздю прикрѣпляется бичевка или воробъ для получения швовъ камней. Когда центръ кривизны лежитъ ниже пяти, т. е. когда арка полога, то прибиваются къ стойкамъ горизонтальная перекладина, на которая и укрѣпляются центральный гвоздь. Совершенно такого же устройства кружала будуть пригодны для коробовыхъ и эллиптическихъ арокъ, причемъ центры первыхъ будутъ на разныхъ перекладинахъ, смотря по радиусамъ кривизны.

Швы эллиптическихъ арокъ опредѣляются посредствомъ слѣдующаго построенія, принадлежащаго французскимъ инженерамъ, а именно: проводятъ линію ad и dc параллельно ab и bc (рис. 116); соединяютъ b съ

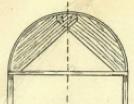


Рис. 113. Кружало изъ косяковъ.

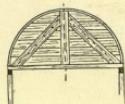


Рис. 114. Сплошное кружало.

бичевкой или воробомъ для получения швовъ камней. Когда центръ кривизны лежитъ ниже пяти, т. е. когда арка полога, то прибиваются къ стойкамъ горизонтальная перекладина, на которая и укрѣпляются центральный гвоздь. Совершенно такого же устройства кружала будуть пригодны для коробовыхъ и эллиптическихъ арокъ, причемъ центры первыхъ будутъ на разныхъ перекладинахъ, смотря по радиусамъ кривизны.

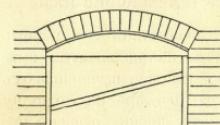


Рис. 115. Кружало подъ перемычку.

Швы эллиптическихъ арокъ опредѣляются посредствомъ слѣдующаго построенія, принадлежащаго французскимъ инженерамъ, а именно: проводятъ линію ad и dc параллельно ab и bc (рис. 116); соединяютъ b съ

d и c съ a . Затѣмъ изъ точекъ m , n , o , p и т. д., взятыхъ на эллинѣ, проводить линіи горизонтальные, или что то же, перпендикулярные къ оси bc и пересѣкающіе діагональ bd въ точкахъ m' , n' , o' и т. д. Изъ этихъ послѣдніхъ опускаютъ перпендикуляры къ діагонали ac , продолжая ихъ до пересѣченія съ линіей bc . Получающееся напослѣдній точками m'' , n'' , o'' и т. д. соединяютъ съ m , n , o и т. д.; тогда направление швовъ будетъ совпадать съ линіями mm'' , nn'' , oo'' и т. д.

Что касается до кружала для стрѣльчатыхъ арокъ, то онѣ дѣлаются или сплошными, или косяковыми. Надо только замѣтить, что осадка стрѣльчатыхъ арокъ очень незначительна; наибольшая осадка кружала при пролетѣ 0,5 саж. не превосходитъ о,01 пролета, т. е. не бываетъ болѣе $\frac{0,5}{100} = 0,005$ саж., а потому этой осадкой или пренебрегаютъ, или приподымаютъ пяту на $\frac{1}{400}$.

Если арка будетъ сложена не одновременно съ кладкой стѣнъ, то необходимо оставить въ стѣнѣ пяты. Эти пяты бываютъ или выносныя, или горизонтальные, или срѣзанными.

При выносныхъ или выпускныхъ пятахъ (рис. 117) въ кладкѣ стѣны выпускаютъ нѣсколько рядовъ камня такъ, чтобы вышележащая стѣна не лежала на арочной кладкѣ; при полукруглыхъ, эллиптическихъ и стрѣльчатыхъ аркахъ можно выносныя пяты дѣлать подъ угломъ 30° , т. е. такъ, чтобы первый арочный камень имѣть шовъ подъ угломъ въ 30° къ горизонту. Если кружала не будутъ установлены во время приготовленія

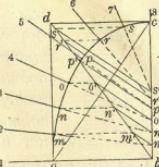


Рис. 116. Разбивка швовъ эллиптической арки.

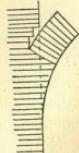


Рис. 117. Выпускная пinta.

пяты, то последний складываются по точной малке (рис. 118).

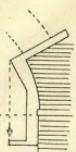


Рис. 118. Малка для пяты.

При горизонтальных пятах никакой тексти камней или кирпичей под углом не требуется, и первый арочный камень кладется на оставленную для этого постель въ кладкѣ стѣны.

При срѣзанных пятах (рис. 119), послѣдний вытесывается также по малке, но кладку стѣны приходится уже дѣлать выше пять напускомъ, чтобы можно было впослѣдствіи подвести арку и чтобы оставался нѣкоторый прозоръ. Хотя срѣзанные пяты ослабляютъ стѣну, но если принять во вниманіе распоръ отъ сводовъ, то иногда эти пяты способствуютъ болѣе равномѣрному распределенію давленія на высотѣ пять данихъ арокъ. При срѣзанных пятахъ правильная установка малки достигается тѣмъ, что одна сторона ея (вертикальная) прикладывается къ стѣнѣ.

При плоскихъ перемычкахъ часто вовсе не дѣлаютъ кружальныхъ реберъ, а кладутъ доски толщиною отъ $2\frac{1}{2}$ дюймовъ и болѣе плашмя и подпираютъ стойками. Доски, положенная плашмя, необходимо нѣсколько выгнуть въверхъ, чтобы перемычки послѣ осадки имѣли плоскую, а не выпуклую поверхность книзу.

Когда пролѣтъ арки отъ 0,5 до 1,5 саж., то большинство кружальныхъ реберъ состоятъ изъ двухъ или нѣсколькихъ косяковъ. Кромѣ горизонтальной затяжки

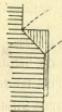


Рис. 119. Срезанная пата перемычки и малка.

Малка представляетъ собою вырѣзанную изъ доски въ обратномъ видѣ форму, вполнѣ отвѣчающую какъ радиусу кривизны арки при пятахъ, такъ и углу первого шва арочной кладки. Чтобы малку установить правильно, на ней должна быть начертана вертикальная линія или должны быть придѣланы двѣ точки, устанавливаемыя по отвѣсу.

При горизонтальныхъ пятахъ никакой тексти камней или кирпичей под угломъ не требуется, и первый арочный камень кладется на оставленную для этого постель въ кладкѣ стѣны.

При срѣзанных пятахъ (рис. 119), послѣдний вытесывается также по малке, но кладку стѣны приходится уже дѣлать выше пять напускомъ, чтобы можно было впослѣдствіи подвести арку и чтобы оставался нѣкоторый прозоръ. Хотя срѣзанные пяты ослабляютъ стѣну, но если принять во вниманіе распоръ отъ сводовъ, то иногда эти пяты способствуютъ болѣе равномѣрному распределенію давленія на высотѣ пять данихъ арокъ. При срѣзанных пятахъ правильная установка малки достигается тѣмъ, что одна сторона ея (вертикальная) прикладывается къ стѣнѣ.

При плоскихъ перемычкахъ часто вовсе не дѣлаютъ кружальныхъ реберъ, а кладутъ доски толщиною отъ $2\frac{1}{2}$ дюймовъ и болѣе плашмя и подпираютъ стойками. Доски, положенная плашмя, необходимо нѣсколько выгнуть въверхъ, чтобы перемычки послѣ осадки имѣли плоскую, а не выпуклую поверхность книзу.

Когда пролѣтъ арки отъ 0,5 до 1,5 саж., то большинство кружальныхъ реберъ состоятъ изъ двухъ или нѣсколькихъ косяковъ. Кромѣ горизонтальной затяжки

дѣлаютъ подпорки подъ стыками косяковъ. Только въ очень пологихъ аркахъ описанного пролета встрѣчаются сплошные ребра изъ цѣльныхъ или двойныхъ досокъ.

Стойки для поддержанія кружальныхъ реберъ бываютъ или изъ досокъ, или изъ брусьевъ. Плоскія перемычки при пролѣтѣ около 1 саж. лучше дѣлать по полубрусьямъ или доскамъ, положеннымъ на ребро и соединеннымъ по два.

Для облегченія раскружаливанія употребляютъ горизонтальные клинья (рис. 120). Если ширина перемычки или арки не болѣе 6 вершковъ, то можно опалубки не дѣлать, аставить рядомъ только два кружальныхъ ребра.

При пролѣтѣ арки отъ 1,5 до 3 саж., кружала всегда состоятъ изъ сложныхъ реберъ, опалубки и стоекъ. Для тяжелыхъ, очень толстыхъ арокъ вместо досокъ лучше употреблять брусья (рис. 121), причемъ связки и распорки слѣдуетъ разсчитывать на достаточную прочность. Такъ, напр., если на одну распорку кружала приходится грузъ въ 2000 пуд., то эта распорка должна быть сѣченіемъ не менѣе

$$W = \frac{2000}{20} = 100 \text{ кв. дм.}$$

гдѣ прочное сопротивление дерева на кв. дм.

= 20 пуд., т. е. для распорки надо взять брусъ сѣченіемъ 10×10 дм.

Чтобы кружала были совершенно неизмѣняемыми, необходимо до окончательной обтески кривой направ-

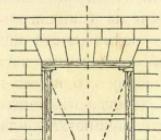


Рис. 120. Кружало плоской перемычки.

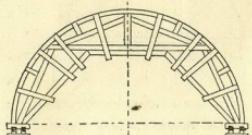


Рис. 121. Сплошное кружало изъ ширягеля и бабки.

ляющей, стянута кружала нѣсколькими затяжками вертикальными, горизонтальными и наклонными.

Междудо стойками и кружальными ребрами всегда почти помѣщаются два маленьких клина, дабы, кромѣ облегчения раскружилианія, можно было нѣсколько облегчить нагрузку кружалъ, явившуюся вслѣдствіе осадки арки отъ высыпанія раствора.

Для арокъ отъ 3-хъ до 5-ти саженей въ пролѣтѣ, встрѣчающихся въ обыкновенныхъ зданіяхъ, можно считать вполнѣ годными кружала, изображенные на рис. 122, при чмъ для достиженій неизмѣнности ихъ, необходимо затяжки и распорки дѣлать правильной системы (шпренгельной или бабочкой) и, кроме того по возможности нагружать кружала сухимъ материаломъ и снимать нагрузку по мѣрѣ кладки арки, употребляя его прямо въ дѣло.

Иногда въ мостовыхъ аркахъ дѣлаютъ даже такъ, что начинаютъ кладку не только съ пять, но и съ угла въ 45° , т. е. съ четырехъ мѣстъ одновременно съ единственномъ цѣлью быстро сложить арку и избѣгнуть вреднаго вліянія деформаций кружалъ во время кладки.

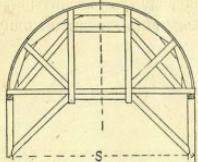


Рис. 122. Кружало для аркъ отъ 3 до 5 саж. въ пролѣтѣ.

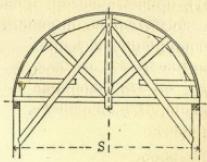


Рис. 123. Сложное бабочко кружало.

Сложныя кружала должны лежать на опорахъ такъ, чтобы можно было ихъ снизу видѣть свободно и, чтобы въ случаѣ прогиба гдѣ либо, можно было своевременно подложить подпорку.

На рис. 123 представлена другой видъ сложныхъ кружалъ, употребляемыхъ въ архитектурѣ. Наконецъ,

примѣняется при тяжелыхъ аркахъ лучистая система распорокъ (рис. 124), приготовленныхъ изъ брусьевъ и врѣзанныхъ наполовину при пересѣченіи другъ съ другомъ.

Чтобы облегчить раскружилианіе избѣгнуть при этомъ сотрясений, употребляютъ горизонтальные клинья, мѣшки съ пескомъ, винты и т. д. При помощи клиньевъ изъ твердаго дерева (рис. 125) можно одновременно достигнуть не только опусканія отдельныхъ частей кружалъ, но и всей системы.

Мѣшки (рис. 126) или горшки съ пескомъ очень рациональны въ виду отсутствія всякаго сотрясенія при

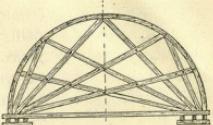


Рис. 124. Кружало лучистой системы.

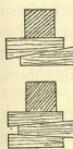


Рис. 125. Клинья для раскружилианія.

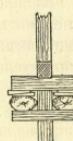


Рис. 126. Мѣшки съ пескомъ для раскружилианія.

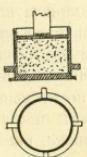


Рис. 127. Желзанный горшокъ съ пескомъ, замыкающій клинья.

раскружилианіи. Горшки приготавливаются изъ чугуна или желѣза съ деревянной или желѣзной подвижной крышкой (рис. 127). Изъ небольшихъ боковыхъ отверстій выпускается песокъ по мѣрѣ надобности. Очень важно при этомъ, чтобы песокъ въ мѣшкахъ или горшкахъ былъ совершенно сухой и такимъ сохранился до окончанія раскружилианія и, чтобы этотъ песокъ не содержалъ примѣсей глины, такъ какъ иначе онъ очень плохо высыпается.

Винты при кружалахъ (рис. 128) устраиваются такъ, чтобы возможно было вертикальное опускание и подъеме лежащаго на нихъ прогона (горизонтального бруса), въ который упираются всѣ подпорки кружалъ. Винты даютъ возможность не только опустить кружала, но и поднять ихъ вновь и должны считаться самыми рациональными для этой цѣли.

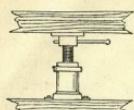


Рис. 128. Винт для регулирования кружала.

39. Раскружаливание.

Время, по прошествіи котораго можно бываетъ приступитьъ къ раскружаливанію арокъ, различно и зависитъ отъ срости воздуха или отъ времени высыханія раствора, отъ числа швовъ, отъ свойствъ раствора, и материала кладки и т. д. Маленькия арки или перемычки можно раскружаливать, не смотря на растворъ сейчасъ же послѣ замыканія, предполагая, конечно, что опоры всѣ устойчивы какъ относительно вращенія, такъ и относительно скольженія.

На послѣднее обстоятельство должно быть обращено главное вниманіе при раскружаливаніи. Дѣло въ томъ, что устойчивость арки часто гарантируется тѣмъ грузомъ, который лежитъ выше пять арки, а потому, если раскружалить арку до полной нагрузки опоры, послѣдняя можетъ оказаться неустойчивой. Отсюда слѣдуетъ первое правило при раскружаливаніи какой-угодно арки, а именно: **раскружаливаніе возможно только тогда, когда устойчивость и прочность опоры гарантированы относительно распора, развиваемаго данной аркой.**

Арка, сложенная безъ раствора, даетъ осадку очень незначительную, особенно если замокъ арки входилъ туда, а потому будетъ безразлично, раскружалимъ ли мы арку сейчасъ же по положеніи замочного камня, или оставимъ кружала стоять на неопределеннное время;

присутствіе ихъ въ данномъ случаѣ никакой роли играть не будетъ.

То же самое необходимо сказать относительно всѣхъ арокъ небольшихъ размѣровъ, возведенныхъ въ одинъ день; осадка ихъ, особенно, если онѣ полуциркульны или стрѣльчаты, очень незначительна, и потому удаленіе кружалъ не можетъ замѣтно повлиять на измѣненіе формы арки вслѣдствіе осадки, а слѣдовательно, и состояніе арки останется безъ перемѣнъ.

Это относится особенно къ аркамъ, сложеннымъ на цементномъ растворѣ. Во всякомъ случаѣ, totchastъ по положеній замочного камня, слѣдуетъ кружала нѣсколько ослабить (опустить), чтобы дать аркѣ возможность садиться; лучше всего ослабленіе кружалъ достигается, какъ сказано выше, мышками съ пескомъ или винтами.

Въ практикѣ принято разбирать кружала черезъ слѣдующіе сроки: а) для арокъ пролетомъ до 2-хъ арш., по формѣ полуциркульныхъ или стрѣльчатыхъ,— черезъ 1—2 дня; для пологихъ—черезъ 3—4 дня, б) арки пролетомъ до $1\frac{1}{2}$ саж., можно раскружаливать: полуциркульны—черезъ 4—5 дней, а пологія—черезъ 7—8 дней, в) для арокъ пролетомъ до 4-хъ саж. раскружаливаніе возможно черезъ 8—12 дней, г) кружаламъ самыхъ большихъ арокъ даютъ стоять отъ 28 до 30 дней.

При кладкѣ на цементномъ растворѣ, когда осадка незначительна, лучше всего или удалить кружала totchastъ по положеній замочного камня, соблюдая извѣстную осторожность, или держать кружала на мѣстѣ до 4-хъ недѣль, пока растворъ вполнѣ не окрѣпнетъ.

При всѣхъ аркахъ приходится обращать еще серьезное внимание на слѣдующее обстоятельство. Если подпорки кружалъ неизмѣнены, какъ и стойки, на которыхъ лежатъ кружала, то аркѣ не имѣтъ никакой возможности опуститься; между тѣмъ опорныя стѣны, вслѣдствіе высыханія раствора, садятся на $\frac{1}{100}$ своей высоты. Очевидно, если мы не вынемъ кружалъ, то пяты могутъ опуститься, и вся арка окажется утвѣр-

жденной не на пятахъ, а на кружалахъ, вслѣдствіе чего и появляются трещины въ кладкѣ стѣны выше пять арки, весьма характерной формы, но никакой опасности не представляющія и исчезающія, обыкновенно сейчашь же послѣ раскружаливанія.

40. О материалахъ для кладки арокъ.

Матеріаломъ для кладки арокъ служить камень и кирпичъ, сложенные насухо, или на растворѣ.

Изъ камней наиболѣе удобнымъ для кладки является плита, не требующая часто никакой тески. Очевидно, выборъ того или другого матеріала для арокъ будетъ зависѣть прежде всего отъ величины наибольшаго давленія въ аркѣ. Если давленіе, напр., болѣе то пуд. на 1 кв. дм., то всякий камень и кирпичъ, обладающий прочнымъ сопротивленіемъ менѣе то пуд. на 1 кв. дм., будетъ негоднымъ и, наоборотъ, всякий камень, естественный, съ прочнымъ сопротивленіемъ болѣе то пуд. на 1 кв. дм. можетъ быть употребленъ въ дѣло. Эта возможность употреблять матеріалъ требуемой прочности много облегчаетъ самый расчетъ и проектированіе зданій, такъ какъ не является необходимостью одновременно съ проектированіемъ сооруженія дѣлать расчетъ прочности.

Въ то время, какъ выборъ камня является весьма опредѣленнымъ и зависить отъ усилий, дѣйствующихъ въ аркѣ, выборъ наилучшаго раствора является до сихъ поръ спорнымъ. Послѣдователи теоріи наивыгоднѣйшаго сопротивленія (Гагена) вполнѣ логично предпочтуютъ растворъ медленно твердѣющій, напр., известковый, чтобы дать аркѣ возможность при осадкѣ ориентироваться наиболѣе выгодно. Другие же инженеры, послѣдователи теоріи упрогости (Винклера), наоборотъ, предпочитаютъ растворъ быстро твердѣющій, напр. цементный, при чѣмъ стараются избѣгать всякой осадки и измѣненія формы кружалъ и арокъ. Намъ

кажется, однако, что значение раствора съ точки зреѣнія быстроты затвердѣванія далеко не столь важно, какъ можно было бы ожидать. Дѣло въ томъ, что какъ бы быстро или медленно ни было отвердѣніе раствора, значеніе будетъ имѣть лишь то обстоятельство, измѣнить-ли растворъ свой объемъ или нѣтъ; съ этой точки зреїнія вообще говоря, цементный растворъ лучше известковаго.

Только въ тѣхъ случаяхъ, когда арки нагружены довольно значительно и скатіе раствора весьма замѣтно, будеть предпочтительнѣе употреблять растворъ медленно твердѣющій, такъ какъ сопротивленіе его будеть увеличиваться по мѣрѣ увеличенія скимающей силы; быстро твердѣющій растворъ въ этомъ случаѣ можетъ оказаться недостаточной прочности.

Плоскіе перемычки и очень тонкіе арки (въ $\frac{1}{2}$ кирпича) безусловно предпочтительнѣе возводить на цементномъ растворѣ, такъ какъ послѣдній играетъ здѣсь большую роль.

Иногда примѣненіе того или другого раствора зависитъ отъ состоянія погоды. Такъ въ сырье осеннеіе дни известковый растворъ очень медленно высыхаетъ и употребление его является прямо рискованнымъ, тогда какъ цементный растворъ, наоборотъ, тѣмъ лучше схватывается, чѣмъ сырѣе и чѣмъ равномѣрнѣе распределена влага. Въ жаркіе, сухіе лѣтніе дни гораздо предпочтительнѣе употреблять растворъ известковый. Наконецъ, примененіе того или другого раствора зависитъ отъ времени, въ которое необходимо кончить пѣстройку.

Если арку необходимо нагрузить до снятія кружаль, то ее складываютъ на известковомъ растворѣ, и, наоборотъ, если ее нагружаютъ послѣ снятія кружаль, — то на цементномъ.

Надо замѣтить еще, что если давленіе въ швахъ не превосходитъ б пуд. на 1 кв. дм., то лучше класть арки на цементномъ растворѣ; при давленіи же болѣе б пуд. лучше класть на известковомъ.

Во всяком случае употребление того или другого раствора зависит не только от свойств последнего, погоды и времени кладки, но и от личных взглядов строителя на данное дело. Нужно только, чтобы строитель были приняты в соображение все свойства того или другого раствора и все тут условия и обстоятельства, при которых приходится работать.

О материалах, употребляемых на кладку арокъ и сводовъ надо замѣтить еще, что они должны быть лучшихъ качествъ, чѣмъ тѣ же материалы, употребляемые на стѣны. Такъ, напр., песокъ долженъ быть не очень крупнымъ, но и не очень мелкимъ; не долженъ заключать въ себѣ примѣсей въ видѣ твердыхъ крупныхъ кусковъ. Растворъ долженъ быть тщательно перемѣшанъ, одинаковой жирности и густоты и т. д.

41. Устройство пяты.

Во всѣхъ аркахъ кладка пяты заслуживаетъ особаго вниманія. По своему устройству пяты, какъ мы сказали выше, раздѣляются на горизонтальные, выносные и срѣзанные. Первые встрѣчаются при кладкѣ полуциркульныхъ, эллиптическихъ, стрѣльчатыхъ и коробовыхъ арокъ, т. е. при всѣхъ аркахъ, у которыхъ центръ крайняго (ближайшаго къ пятамъ) радиуса кривизны лежитъ на высотѣ пяты (рис. 129). Въ этомъ случаѣ кладка пяты не требуетъ особыхъ работъ сравнительно съ кладкой стѣнъ.

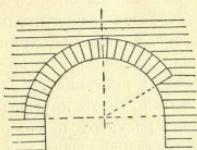


Рис. 129. Горизонтальная (налево) и выносная (направо) пята у арки.

Дѣлать горизонтальные пяты не рационально, такъ какъ арка, встрѣчая за союю слой раствора отъ забутки, можетъ скользить пятами, слѣдовательно чего явится раскрытие замочного шва снизу, а также трещина въ одномъ изъ швовъ

пятъ. Эти пяты являются иногда даже невозможными, напр., когда дѣл арки упираются на одинъ столбъ (рис. 130). Поэтому значеніе горизонтальныхъ пятъ—декоративное, и онѣ дѣлаются только при каменныхъ облицовкахъ; въ штукатурныхъ же стѣнахъ эти пяты всегда замѣняются выносными. Выносные пяты встрѣчаются какъ въ полуциркульныхъ и другихъ (подъемистыхъ) аркахъ, такъ и въ пологихъ. Для этого кладку выпускаютъ горизонтальными рядами изъ вѣстнаго угла и затѣмъ вытесываютъ обратную пяту (рис. 131). При пологихъ аркахъ выносные пяты должны быть основываемы на длинныхъ камняхъ, хорошо заложатъ въ кладкѣ (рис. 132).

Главное достоинство выносныхъ пяты заключается въ слѣдующемъ: 1) уменьшеніе пролета арочной кладки; 2) освобожденіе пятъ отъ нагрузки вышележащихъ стѣнъ и 3) уменьшеніе распора арки при пологихъ формахъ, такъ какъ шовъ излома будетъ дѣлаться въ пятовыхъ швахъ.

Недостатки выносныхъ пяты слѣдующие: 1) необходимо тесать обратную пяту и, слѣдовательно, ослаблять крѣпость кирпича; 2) пятовые камни, будучи на вѣсу и нагружены аркой, нѣсколько наклоняются внутрь, отъ чего, при плохой кладкѣ, могутъ появиться трещины, какъ въ пятахъ, такъ и въ другихъ мѣстахъ арки; 3) при очень пологихъ аркахъ выносные пяты могутъ быть только изъ камня (рис. 133); и, 4) первый арочный камень легко скользить по плоскости пяты,

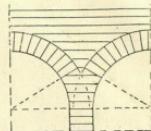


Рис. 130. Пята на столбѣ у встрѣчныхъ аркахъ.

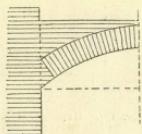


Рис. 131. Выносная пята при кирпичной кладкѣ.

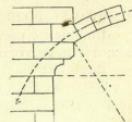


Рис. 132. Выносная пята при каменной кладкѣ.

имѣя швы изъ раствора, встрѣчающіеся со швами горизонтальной кладки опоры.

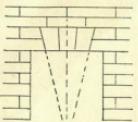


Рис. 133. Выносная пята плоской каменной перемычки.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда выносныхъ пять сдѣлать нельзя, употребляютъ пять срѣзанныя. Пять эти отличаются тѣмъ, что имѣютъ обратную пять, врѣзывающуюся въ кладку стѣнъ (рис. 134), причемъ первый камень арочной кладки не имѣетъ возможности скользить такъ легко, какъ въ выносныхъ.

Къ сожалѣнію не всѣ строители обращаютъ достаточное вниманіе на правильное устройство срѣзанныхъ пять, у которыхъ самымъ существеннымъ является небольшой горизонтальный уступъ во внутрь стѣны. Этотъ уступъ и служитъ къ тому, что первый арочный камень не можетъ скользить книзу, и арка, сложенная безъ этого уступа, при скоромъ посыпѣ кладки раскручиваніи, всегда почти даетъ трещину въ пятовомъ швѣ, скользя по плоскости обратныхъ пять.

Недостатки срѣзанныхъ пять весьма значительны, а именно: 1) первые арочные камни подвержены нагрузкамъ и потому могутъ потерять равновѣсие скользнѣемъ; 2) стѣны ослабляются срѣзанными пятью, если арки не будутъ возведены до кладки этихъ стѣнъ выше пять.

Бѣречемъ, послѣдній недостатокъ при извѣстныхъ условіяхъ можетъ превратиться въ достоинство.

Возьмемъ численный примеръ. Опора шириной въ 10 фут. и толщиной въ 3 фута подвергена распору свода, дающаго кри-
вую давленія, проходящую на высотѣ пять арки въ наружной трети, причемъ равнодѣйствующая равна 9000 пуд. Наибольшее напряженіе на 1 кв. футъ будетъ

$$\frac{9000}{3 \times 10} \times 2 = 600 \text{ пудовъ.}$$

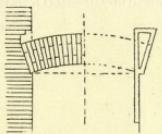


Рис. 134. Пята срѣзанная съ бровкой.

Если же мы срѣжемъ стѣну на 1 футъ съ внутренней стороны (рис. 135), то сѣченіе стѣны будетъ меньше т. е. будетъ $10 \times 2 = 20$ кв. фут., но за то напряженіе $\frac{9000}{20} = 450$ пудамъ на 1 кв. ф., т. е. во второмъ случаѣ напряженіе материала меньше.

Обтеска пять производится по шаблонамъ или малкамъ. При обтескѣ необходимо соблюдать, чтобы не тесать угловъ менѣе 45° , особенно при кирпичѣ, такъ какъ это сильно ослабляетъ сопротивленіе концовъ, а слѣдовательно и сопротивленіе пять. Кромѣ того кладку пять необходимо производить тщательно и по возможности менѣе употреблять раствора.

Большого вниманія заслуживаютъ пять оконныхъ перемычекъ, особенно если отверстіе ограничено не параллельными, а наклонными плоскостями (рис. 136). Очевидно, если бы мы

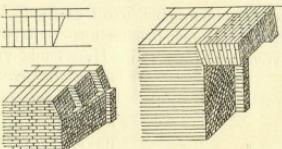


Рис. 135. Кладка пяти оконныхъ перемычекъ.

тесали пять также наклонно (относительно оси перпендикулярной къ щековой поверхности), то въ перемычкѣ кладка была бы коническая, требующая тески съ 3-хъ сторонъ и потому сильно ослабляющая кирпичъ. Для избѣжанія этого пять тешутся по плоскостямъ перпендикулярнымъ къ щековымъ поверхностямъ, если даже они ограничены наклонными плоскостями; получаемый же уступъ въ горизонтальной кладкѣ закроется потомъ арочной кладкой. Этимъ избѣгается не только коническая кладка перемычки, но и достигается возможность дѣлать правильную перевязь, причемъ въ болѣе широкихъ частяхъ пролета

арочная кладка начинается на нѣсколько рядовъ раньше.

Прежде чѣмъ начать кладку арки, необходимо нѣсколько нагрузить пяту, во избѣженіе скольженія по слѣдней, которая, несмотря на кружала, будетъ подвергаться боковому давленію вслѣдствіе скольженія арочныхъ камней по поверхности кружалъ при осадкѣ. Вместо нагрузки на пяты можно закладывать временные связи.

Въ подвѣсныхъ аркахъ (рис. 137) среднія пяты лежатъ на камнѣ, подвѣшенному къ разгрузной аркѣ на болтѣ, а потому такія арочки могутъ быть сложены или послѣ кладки разгрузной или раньше. Въ послѣднемъ случаѣ посерединѣ должна быть стойка, замѣняющая болтъ, и кладка производится на пятахъ съ продѣт旳мъ болтомъ, поддерживаемымъ этой стойкой.

Къ выноснымъ пятамъ сгѣдуетъ отнести еще пяты зубчатыя (рис. 138).

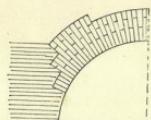


Рис. 137. Разгрузная арка съ двумя подвѣсными перемычками.

Зубчатыя пяты дѣлаются на томъ основаніи, что собственно шовъ излома не будетъ наклонной, а вертикальной линіей, получающей видъ зубчатой линіи только благодаря сопротивленію кирпича или камня разрыву. Малка при зубчатыхъ пятахъ мало отличается отъ таковыхъ для выносныхъ пятъ вообще.

42. Кладка арокъ и перемычекъ изъ кирпича.

Кладка арокъ начинается съ пять и при этомъ съ двухъ концовъ одновременно. Каменщикъ береть растворъ, кладеть его на обтесанную оборотную или горизонтальную пяту и сверхъ него кирпичъ, хорошо смоченный передъ этимъ водою. Перевязь камней въ аркѣ должна быть одинакова съ перевязью камней въ столбахъ и вообще небольшихъ стѣнъ. Толщина арки назначается въ $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{1}{2}$, и т. д. кирпича, дабы избѣжать лишней тески.

Тесать кирпичъ по постелямъ очень нераціонально, такъ какъ прочность кирпича отъ этого сильно ослабляется; поэтому, если является необходимость такой тески, напр., при очень малыхъ перемычкахъ, или сильно нагруженныхъ и толстыхъ аркахъ, то лучше заказывать лекальній кирпичъ. Послѣдній, хотя и дороже, но за то экономия получается въ работе.

При пролетахъ болѣе 3-хъ саж. и толщинѣ не болѣе 2-хъ кирпичей теска является излишней, такъ какъ разница толщины въ концахъ швовъ довольно незначительна.

Главное правило, которымъ слѣдуетъ руководствоваться при кладкѣ арокъ и перемычекъ, это то, чтобы швы были нормальны къ направляющей кривой; это важно не только потому, что кривая давленія будетъ наиболѣе нормальна къ линіямъ швовъ, но и потому, что швы получаются болѣе равномѣрные, а слѣдовательно осадка будетъ наименьшей.

Толщина арки или перемычки въ оконныхъ и дверныхъ проемахъ опредѣляется посредствомъ таблицъ, выведенныхъ изъ опыта и весьма рѣдко—посредствомъ расчета устойчивости и прочности. Только арки, опирающиеся на столбы, или съ пролетомъ болѣе 2-хъ саж. должны быть рассчитаны главнымъ образомъ для определенія величинъ распора и устойчивости опоръ.

Если плоскія перемычки предполагается впослѣд-

ствий оштукатурить, то им придают снизу нѣсколько вогнутую форму, а незначительную кривизну, остающуюся послѣ осадки, легко выравнять наметомъ штукатурки.

Для стрѣльчатыхъ арокъ швы близъ пять направляютъ въ два центра, изъ которыхъ описаны дуги, а чтобы избѣжать остраго клина въ замкѣ, швы, начиная съ угла 45° , ведутъ изъ третьей точки M (рис. 139), лежащей на пересѣченіи радиусовъ подъ угломъ въ 45° .

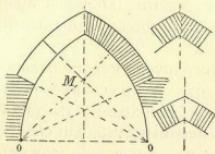


Рис. 139. Кладка стрѣльчатой арки.

Иногда однако, можно кладь швы по направлению двухъ центровъ до самаго замочного клина, причемъ замокъ вытесывается изъ большого куска естественнаго камня.

При нагруженныхъ стрѣльчатыхъ аркахъ можно замокъ кладь на цементномъ растворѣ въ елку.

Если приходится дѣлать арки значительной толщины, причемъ теска не желательна по постелямъ, а лекальнаго кирпича не имѣется, то прибегаютъ къ устройству перекатныхъ арокъ (рис. 140), т. е. двухъ и болѣе арокъ, сложенныхъ одна надъ другой независимо и безъ перевязи. Устойчивость и прочность суммы такихъ арокъ очевидно меньше, чѣмъ устойчивость и прочность одной арки соответственной толщины. Причина кроется въ томъ, что верхняя арка даетъ большую осадку, какъ имѣющая большее количество швовъ, а потому нижняя арка будетъ

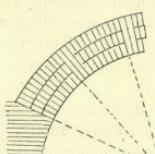


Рис. 140. Перекатная арка съ общими прокладанными рядами и съ общими пятами.

сильно нагружена. Осадки перекатныхъ арокъ, стараются арки возводить

такъ, чтобы онѣ заключали одинаковое число клиньевъ (рис. 141). Прочность перекатныхъ арокъ много зависитъ отъ тщательности кладки и выводить ихъ слѣдуетъ одновременно. Чтобы перекатная арка могла имѣть то же сопротивление, что и цѣльная арка, дѣлаютъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ сквозные ряды или прокладываютъ плиты. Прокладную плиту полезно употреблять и вообще при цѣльной аркѣ, если послѣднѣя очень толста и сильно нагружена. Обыкновенно плиту прокладываютъ черезъ $1 - 1\frac{1}{2}$ арш.

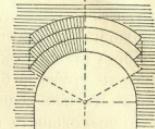


Рис. 141. Перекатная арка съ одинаковымъ количествомъ швовъ.

Несмотря на неконструктивность плоскихъ перемычекъ, онѣ почти неизменны при окнахъ и дверяхъ; трещины въ нихъ встрѣчаются чаще, чѣмъ во многихъ другихъ видахъ арокъ, даже когда слѣдана разгрузная арка, къ которой на болтахъ подвѣшиваются перемычки. Въ послѣднемъ случаѣ дѣлаются обыкновенно такъ, что пролѣтъ раздѣляется на дѣй части, т. е. дѣлаются двѣ перемычки, опирающіяся въ серединѣ на сணный пятовой камень. Когда струна болта довольно крѣпка, то подъ перемычками дѣляется до разгрузной арки кладка или надбутка горизонтальными рядами.

Обыкновенно въ дверныхъ и оконныхъ проемахъ помѣщаются рамы, и потому, если нижняя линія перемычки прямая, то для установки рамъ никакихъ затруднений не встрѣчается. Но если нижняя линія перемычки кривая, то кладку ей приходится на мѣстѣ, где будетъ стоять рама, дѣлать выпуски (рис. 142); но не надо, чтобы высота получаемаго сегмента была больше 3-хъ вершк., иначе перевязь камней будетъ неправильная и камни не буду-



Рис. 142. Кладка основной перемычки съ выпусками радиъ для образования горизонтальнаго низа.

дуть держаться въ кладкѣ. Что касается до прозоровъ (пустотъ), оставляемыхъ часто надъ рамой и впослѣдствіи заполняемыхъ кладкой, то это возможно лишь тамъ, где рамы будутъ довольно широкія и прочныя—на подобіе дверныхъ.

Когда проемъ окна ограниченъ притолками (выступами), то кружала будутъ для каждого уступа особыя. При этомъ необходимо, чтобы опалубка кружалья была бы по возможности плотная, иначе при заливкѣ жидкимъ растворомъ, послѣдній вытекаетъ изъ шововъ совершенно свободно (въ промежутки между кружалами).

Прозоръ между рамой и перемычкой слѣдуетъ по возможности долго оставлять открытымъ, особенно когда окно имѣть наличникъ изъ цѣльнаго камня (рис. 143).

Когда же наличникъ состоитъ изъ нѣсколькихъ камней, то для горизонтальной или вѣнчающей части необходимо камни пропускать дальше въ толщину стѣны и утверждать ихъ на рельсахъ, а прозоръ всетаки оставлять открытымъ. При окнахъ со средней колонкой

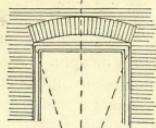


Рис. 143. Окначная перемычка съ прозоромъ между низомъ перемычки и коробкой.

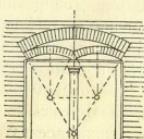


Рис. 144. Разгруженная арка при лежащихъ перемычкахъ съ колоннами посерединѣ окна.

устройство перемычки и наличника слѣдуетъ дѣлать изъ двухъ частей такъ, чтобы средний шовъ приходился надъ колонкой (рис. 144); надъ двумя частями наличника необходимо дѣлать перемычки, а сверху послѣднихъ разгрузную арку.

Большою частью перемычки въ домахъ дѣлаются

изъ кирпича. Надо замѣтить, что даже при дешевизнѣ естественного камня будетъ рациональнѣѣ дѣлать перемычки изъ кирпича, исключая, конечно, случаи, когда кирпича вовсе нельзя достать.

Если можно, нужно стараться возводить арку или перемычку въ одинъ день, такъ какъ иначе материалъ раствора будетъ претерпѣвать различнаго степени скажтія, измѣняя свою консистенцію не одинаково. Платовой (первый) камень долженъ быть тщательно положенъ и, по возможности, изъ цѣльнаго куска; замочный камень долженъ быть плотно вѣбланъ, но нужно избѣгать насилияенного удара, такъ какъ растворъ можетъ быть совершенно вытеснить изъ шововъ или совершенно не связаться съ кирпичами вслѣдствіе сотрясенія шововъ уже схватившихъ.

Совсѣмъ гладкую обтеску сопрягаемыхъ шововъ надо считать большой ошибкой, точно такъ же, какъ оставленіе гладкими естественныхъ лещадей (плитъ), такъ какъ ссыпаніе раствора при этомъ очень не велико и онъ весьма легко имѣетъ вытѣсніяется. Смачивание кирпича передъ кладкой, а также содержаніе арки (впродолженіи по крайней мѣрѣ не менѣе недѣли) въ сырьемъ или мокромъ видѣ весьма рационально, особенно при цементномъ растворѣ.

Надо при этомъ стараться, чтобы вновь сложенная арка не падвегралась дѣйствію лучей солнца, такъ какъ вслѣдствіе сильной теплоты и неравномѣрнаго ея распределенія всегда является неравномѣрное высыханіе, вызывающее иногда значительное разстройство въ кладкѣ.

При кладкѣ арокъ надо имѣть каменщикоѣ болѣе опытныхъ и искусныхъ, чѣмъ при кладкѣ стѣнъ, такъ какъ многое зависитъ отъ личного знанія каменщикоѣ и его опытности.

Чтобы направлять швы къ центру, въ послѣднемъ укрѣпляется гвоздь, на который одѣвается шнурокъ и натягивается по направленію радиусовъ. Вместо шнурка

лучше употреблять деревянную рейку (воробу), которая кромъ направлень швовъ, можетъ показывать измѣненіе (деформацію) кружалъ, для чего по мѣрѣ кладки отмѣчаютъ на воробѣ длину радиуса, измѣняющагося сообразно измѣненію верхней кривой кружальныхъ реберь (рис. 145).

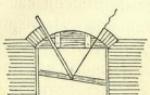


Рис. 145. Кладка перемычки по воробѣ и по шovelу.

Когда центръ дуги не можетъ быть по какимъ либо причинамъ утверждены на кружалахъ или по перечинахъ, напр., если онъ ниже поверхности земли, то вместо воробы и причалки употребляютъ особыго вида малку (рис. 146), одна сторона которой нормальна къ ней. Опытные каменщики могутъ вместо означенной малки проводить швы на глазъ посредствомъ нормально поставленного кирпича.

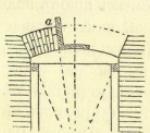


Рис. 146. Кладка перемычки съ помощью малки.

Иногда кладку арокъ производятъ слѣдующимъ образомъ: складываютъ арку безъ раствора (на сухо), вставляя деревянные клинушки для образования швовъ, а затѣмъ швы заливаютъ жидкимъ растворомъ, смачивая предварительно всю арку водою. Очевидно, если швы зальются вполнѣ, то такая кладка будетъ очень хорошей. Къ сожалѣнію, песокъ въ жидкому раствору садится быстро и потому нижнія части швовъ окажутся болѣе тощими, чѣмъ верхнія; часто также швы оказываются не залитыми на значительномъ разстояніи отъ опалубки.

Въ виду этого камни, лежащіе ближе къ опалубкѣ, кладутъ тщательно на растворѣ, а верхніе камни кладуть съ пустыми швами, заполняемыми впослѣдствіи заливкой. Во всякомъ случаѣ тотъ или другой способъ слѣдуетъ предоставить выбору самихъ каменщиковъ, которые всегда предпочитаютъ способъ, имъ наиболѣе извѣстный.

Кладка разгрузныхъ арокъ нѣсколько отличается отъ кладки простыхъ. Здѣсь можетъ быть два случая: разгрузная арка кладется до декоративной (фальшивой) арки, или постѣ. Если разгрузная арка кладется постѣ декоративной, то кружала ставятся подъ послѣднею, а разгрузная арка кладется по слою песка, положенного на декоративную арку (рис. 147). Когда разгрузная арка закончена, песокъ выгребается лопатой, а чтобы во время самой кладки песокъ не высыпался съ боковъ, щековыя поверхности арки защищаются досками, или къ этимъ поверхностямъ призываются досчатые щиты. Если же разгрузная арка дѣлается раньше декоративныхъ, то кружала дѣлаются для тѣхъ и другихъ. Промежуточку между декоративной и разгрузной аркой заполняется кладкой только постѣ полной осадки обѣихъ арокъ.

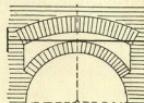


Рис. 147. Разгрузная арка со связью и декоративная арка подъ нею.

43. Кладка арокъ изъ естественнаго камня.

Если приходится дѣлать арки изъ естественнаго камня, каковы: плита (слоистый известникъ), сланцы, и т. д., то нужно только стараться, чтобы постели или почти нормально къ кривой арки, чтобы камни были тщательно сложены и швы были по возможности равной толщины, дабы арка садилась равномѣрно. Небольшая пустоты не должны быть заливы растворомъ, а защебенены болѣе мелкимъ камнемъ. Будетъ весьма рационально прокладывать, по возможности чаще, камни величиною во всю толщину арки, при томъ болѣе крупные камни (по толщинѣ) класть у пятъ, а тонкіе — у замка. Замочный камень долженъ входить какъ можно плотнѣе; для этого его можно вгонять ударомъ деревянного молотка или трамбовки. Камни могутъ быть складываемы на растворѣ или выводимы насухо и потомъ залиты растворомъ.

При послѣднемъ способѣ нужно однако имѣть въ виду, что естественные камни мало впитываютъ воды, и потому жидкий растворъ долго не застываетъ и песокъ весь можетъ оѣсть внизъ.

Чтобы, по возможности, быстрѣе сложить арку, особенно, если она полога и даетъ сильную осадку, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Складываютъ арку насухо, подбирая тщательно камни (рис. 148); затѣмъ

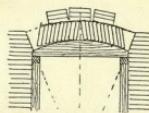


Рис. 148. Кладка арки изъ камней съ подборомъ ихъ насухо.

вынувъ въ пятахъ и замѣкъ нѣсколько рядовъ такихъ камней, наклоняютъ остальные къ замку и начинаютъ кладь на растворъ нижнюю часть постели, причемъ берутъ камни послѣдовательно отъ пять къ замку. Когда будетъ положенъ замокъ и замазаны хорошо верстовые (наружные) швы, то заливаютъ все жидкимъ растворомъ; лишняя вода будетъ вытекать сквозь щели опалубки кружаль, и при цементномъ растворѣ въ видѣ совершенно чистой, фильтрованной воды. Если вода мутная, то это показываетъ, что она пробила себѣ дорогу въ швахъ. Еще лучше наружные швы закладывать паклей, такъ какъ растворъ иначе можетъ упливать, при обилии воды.

Подобную кладку можно произвести очень быстро: при 4-хъ опытныхъ каменщицахъ, послѣ подбора камня, можно сложить на растворѣ въ часъ 0,25 куб. саж. Такая быстрая чрезвычайно важна, такъ какъ избѣгается постепенная деформація кружаль и кладка получаетъ характеръ цѣльного каменнаго массива.

Когда арку кладутъ совершенно насухо, то необходимо между отдѣльными камнями прокладывать клинья деревянныя, каменные или свинцовые и затѣмъ, смазавъ верстовые швы и проложивъ со щековыхъ поверхностей доски, чтобы не вытекала растворъ, заливать камни, но не вдругъ, а постепенно, т. е. заливать всѣ швы вершика на 4, затѣмъ черезъ нѣкоторое время

опять на столько же и т. д., пока швы не заполнятся до верха. Такая кладка будетъ очень прочной и песокъ распределится довольно равномерно.

До сихъ поръ сохранились многія арки древнихъ построекъ, возведенныя именно такимъ способомъ, что легко узнать по круглымъ каменнымъ клинушкамъ и по полосатости раствора въ разрѣзѣ.

Толщину арки изъ камня принимаютъ обыкновенно (при известковомъ растворѣ) больше, чѣмъ толщину той же арки изъ кирпича и кладку ведутъ всегда по кривой, т. е. никогда не дѣлаютъ плоскихъ перемычекъ (рис. 149). Въ виду неправильности постелей, а также въ виду меньшей связи раствора съ камнемъ (сравнительно съ кирпичемъ) можно приступать къ раскружаливанію только послѣ того, какъ растворъ достаточно окрѣпъ, иначе послѣдній легко выжимается изъ швовъ, и арка даетъ большую осадку. Кружала для арокъ изъ естественного камня должны быть вдвое прочнѣе кружаль для такихъ же арокъ изъ кирпича, такъ какъ уголъ тренія камня на растворѣ менѣе, чѣмъ кирпича, а самыи камень тяжелѣ; слѣдовательно, нагрузка кружаль значительно больше. Во всемъ остальномъ кладка изъ камня мало отличается отъ кладки кирпичной, хотя перевязь вслѣдствіе неправильной формы камней будетъ значительно хуже, чѣмъ въ кирпичной кладкѣ.

Тесать естественный камень гладко въ постеляхъ безусловно вредно, такъ какъ въ ноздреватомъ камѣ растворъ лучше удерживается и не такъ легко вытекаетъ при забивкѣ замочнаго камня. Постели нужно только выравнять и сколоть сильно выступающіе бугры.

Прочность арочной кладки изъ камня необходимо

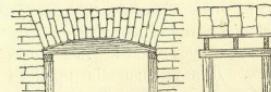


Рис. 149. Кладка арки изъ естественныхъ камней (плитъ).

считать вдвое меньше прочности кладки стѣнъ изъ тѣхъ же материаловъ въ виду того, что въ аркахъ этихъ только нѣкоторая часть постелей участвуетъ въ передачѣ давлениія.

44. Кладка арокъ изъ тесанного камня.

Подъ названіемъ „тесанныхъ“ разумѣются чисто и правильно обтесанные со всѣхъ сторонъ куски природныхъ камней. Арки могутъ быть или сплошь изъ такихъ камней, или только облицованы ими. Для плоскихъ перемычекъ швы будуть рациональнѣ дѣлать по направлению не къ одному центру, а къ нѣсколькоимъ, чтобы замочный и ближайшіе къ нему камни имѣли постели подъ большимъ угломъ наклона, при чемъ слѣдуетъ избѣгать очень острой тески камней у пять. Для уменьшения пролета арочной кладки наиболѣе рационально выпускать пятовой камень опоръ горизонтально на пролѣтъ. Такъ какъ растворъ при тесанныхъ камняхъ никакого значенія не имѣеть, кромѣ какъ заполнять щели, то для связи между собою камней употребляютъ шпиль (пиронъ) простой или угловатый, у которого оба конца перпендикулярны къ соединяющимъ постелямъ. Плоскія перекрытия перемычеками, обыкновенно будучи скрытыми подъ штукатуркой, замѣняютъ собою длинные архитравы; но иногда приходится не оштукатуривать, а дѣлать перемычки въ чистотѣ. Въ послѣднемъ случаѣ поступаютъ такъ: снаружи дѣлаютъ швы прямые, но не во всю ширину арки, а лишь отъ 2 до 3 зершковъ, затѣмъ въ глубь идутъ уже настоящіе арочные швы, по направлению къ центру. На рисункѣ 150 показанъ видъ такого архитрава по фасаду, планъ его и преспективный видъ отдельного камня.

Послѣдний способъ устройства перекрытия не особенно рационаленъ, такъ какъ при тескѣ камня очень трудно сдѣлать плоскости совершенно точно совпадающими

щими и потому малѣйшая неровность при нагрузкѣ можетъ послужить причиной перелома камня, вслѣдствіе передачи давленія на одну или двѣ точки.

Когда верхняя линія арки параллельна нижней, какъ то мы видимъ въ античномъ и средневѣковомъ періодѣ, а также очень часто и теперь, то камни въ кладкѣ стѣнъ близъ замка имѣютъ черезчур острые углы, поэтому рациональнѣ, по крайней мѣрѣ для камней ближайшихъ къ замку, дѣлать перевязь съ камнями арочной кладки. При архивольтахъ, лежащихъ между колоннами, лопатками и пилasters, перевязь можно дѣлать такъ, что угловые камни перевязываются съ арочными, какъ и камни, лежащіе близъ замка; сверхъ же послѣднаго можно класть тонкій слой камня или плиты. Въ большинствѣ, однако, случаевъ дѣлаютъ такъ, что всѣ камни арки связываются забуткой, причемъ арочные камни будутъ неодинаковой длины, или камни въ стѣнѣ будутъ не одинаковой толщины; предпочтѣсть нужно первое (рис. 151) и при томъ дѣлать

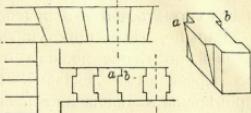


Рис. 150. Кладка плоской арки изъ тесанныхъ по лекалу камней.

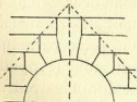


Рис. 151. Кладка арки изъ плоскихъ тесанныхъ камней въ перевязь съ рядами фасада.

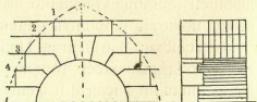


Рис. 152. Кладка арки изъ колющатыхъ тесанныхъ камней въ перевязь съ рядами фасада.

такъ, чтобы кривая всѣхъ пересѣченій (рис. 152) была плавно выпуклой, иначе арка будетъ выглядѣть некрасивой, неспокойной.

Употреблениe колбичатыхъ клиньевъ должно удовлетворять тому же правилу, причемъ очень важна тщательность работы, такъ какъ эти камни могутъ легко сломаться отъ неправильной передачи давления.

Раньше, чѣмъ приступить къ укладкѣ тесанныхъ камней, послѣдніе должны быть тщательно обѣланы по деревяннымъ лекаламъ и шаблонамъ и на мѣстѣ проѣбраны въ сложенномъ видѣ.

Для подыманія и перетаскиванія отдѣльныхъ кусковъ камней употребляются тѣ же приборы, какіе употребляются при подыманіи и перетаскиваніи квадровыхъ камней вообще.

Въ швы кладутъ или слой раствора, или полоски свинца; послѣднія — только подъ края, чтобы не обламывать кромокъ. Такой же свинецъ прокладывается и тогда, когда шовъ заливается жидкимъ растворомъ и нужно образовать пустоту для заливки. Слой раствора кладется обыкновенной толщины, и самой тяжестью камня растворъ этотъ выдавливается изъ шововъ, заполняя только самыя мелкія неровности на постеляхъ камня. Во всякомъ случаѣ растворъ не будетъ играть той роли, какую онъ имѣеть при кладкѣ арокъ изъ тонкихъ плитъ и кирпича.

Тесанные камни имѣютъ часто высѣченные на нихъ профили различныхъ тѣгъ, идущихъ по формѣ направляющей кривой. Очевидно, что малѣйшая осадка одного камня можетъ нарушить плавность кривой, и эта осадка будетъ сейчашъ же видима. Поэтому очень часто тесанные камни обѣляются только съ боковъ; лицо (сторона, выходящая на фасадъ) и задняя сторона оставляются въ необтесанномъ видѣ, при чемъ первая съ значительнымъ запасомъ. Профиль же на такихъ камняхъ высѣкается впослѣдствіи, когда вся кладка кончена, и камни хорошо зажаты. Въ этомъ случаѣ теска обходится дороже, но за то достоинства такой работы очевидны. Прежде всего профиль будетъ безусловно правильнымъ, кромки и острые края безусловно цѣлы, не об-

ломаны, работа чище. Вмѣстѣ съ тѣмъ, однако, можетъ явиться одинъ недостатокъ, а именно: случайно испорченный камень можетъ быть замѣненъ другимъ только съ большими затрудненіями.

45. Обратныя арки.

Въ III-ій части (§ 27) было нами разсмотрѣно назначение обратныхъ арокъ при устройствѣ искусственныхъ оснований, причемъ было указано, что цѣль обратныхъ арокъ заключается въ томъ, чтобы давленіе отъ столбовъ передавалось на все пространство подъ арками или иначе, говоря, цѣль обратныхъ арокъ заключается въ передачѣ давленія на большую поверхность (рис. 153). Но кромѣ этой цѣли обратныя арки могутъ служить какъ и обыкновенные для перекрытия оконныхъ и дверныхъ пролетовъ, но не сверху, а снизу, если сила дѣйствуетъ не сверху внизъ, а на-оборотъ снизу вверхъ. Такой случай бываетъ при устройствѣ лѣстницъ. Задѣлывая концы ступеней въ кладку стѣны, мы предполагаемъ, что грузъ, переходящій на ступени, не въ состояніи приподнять стѣну, лежащую на концѣ ступени, задѣланной въ нее. Но если ступень приходится противъ оконнаго пролета, то очевидно три, четыре ряда кирпичей, лежащихъ на концѣ ступени не въ состояніи удержать ступень отъ опрокидыванія, а потому сила, дѣйствующая снизу вверхъ въ задѣланномъ концѣ ступени, должна быть передана на обратную арку, если нежелательно арку замѣнить желѣзной балкой.

Такимъ образомъ обратныя арки представляютъ собою тѣ же простыя арки, какія нами разсмотрѣны; съ

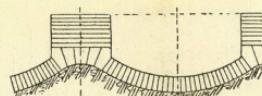


Рис. 153. Кладка обратныхъ арокъ.

тѣмъ лишь различіемъ, что кривая вогнута или, что то же, кривая описана изъ центра, лежащаго выше арки; при разсчетѣ диаграмма нагрузки на обратную арку представляется не суммой грузовъ, а разностью усилий дѣйствующихъ снизу вверхъ и груда самой арки съ забуткой.

46. Разсчетъ нагруженной стрѣльчатой арки.

Какъ производится разсчетъ арокъ вообще, мы видѣли выше (Ч. I, § 11). Въ стрѣльчатыхъ аркахъ линія давленія выходитъ на наружную поверхность близъ замка. Отсюда вытекаетъ правило,

принимать за точку приложения распора точку нижней трети замка, а равнодѣйствующую проводить черезъ нижнюю точку средней трети шва излома.

Правила о приложении распора имѣютъ условное значеніе и для многихъ арокъ можно прилагать его въ срединѣ замка, чтобы опредѣляемый распоръ былъ минимальнымъ для средней толщины арки.

Возьмемъ стрѣльчатую нагруженную арку, показанную на рис. 154.

Дѣлимъ арку съ нагрузкой на элементы вертикальными линіями. Въсъ элементовъ будетъ

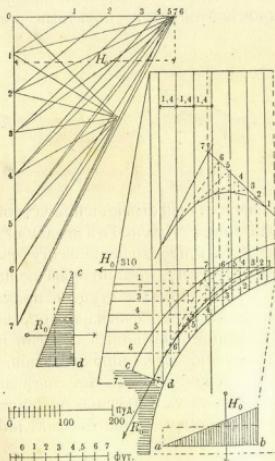


Рис. 154. Разсчетъ нагруженной стрѣльчатой арки.

пропорціональны ординатамъ среднаго сѣченія элементовъ, слѣдовательно, легко найти величину линій, пропорціональныхъ этимъ вѣсамъ посредствомъ треугольника.

Перенесись съ послѣднимъ величинами этихъ линій на планъ силъ, строимъ веревочный многоугольникъ по произвольному полюсу. Затѣмъ, провея распоръ черезъ нижнюю точку средней трети замка, находимъ наибольшій изъ искомыхъ распоровъ и строимъ линію давленія, причемъ видимъ, что она не выходитъ изъ средней трети толщины арки и притомъ почти вѣздѣ перпендикулярия къ швамъ арки, а потому заключаемъ, что наша арка вполнѣ гарантирована въ устойчивости, какъ относительно вращенія, такъ и относительно скользженія. Что же касается до прочности арки, то для этого мы имѣемъ слѣдующій данныія: согласно размѣрамъ чертежа, объемъ 1 элемента равенъ $14 \times 1 \times 1 \times 1,78 = 25,00$ куб. фут. или вѣсъ его равенъ: $25,00 \times 3 = 75,00$ пуд. Затѣмъ, на основаніи масштаба силъ, видимъ, что вѣсъ всей арки равенъ боо пуд., а распоръ зго пуд., и равнодѣйствующая въ пятахъ равна 680 пуд.

Напряженіе материалъ въ замкѣ будеть:

$$\frac{310 \times 2}{3 \times 1 \times 12^2} = 1,44 \text{ пуда на 1 кв. дюймъ.}$$

Напряженіе это наибольшее для замочного шва: среднее напряженіе будеть:

$$\frac{144}{2} = 0,72 \text{ пуда на 1 кв. дюймъ.}$$

Въ пятахъ, въ которыхъ равнодѣйствующая также проходитъ въ нижней точкѣ средней трети, наибольшее напряженіе равно:

$$\frac{680 \times 2}{3 \times 1 \times 12^2} = 3,14 \text{ пуда.}$$

Изъ этого разсчета заключаемъ, что для прочности въ пятахъ арки необходимо, чтобы материалъ обладалъ прочнымъ сопротивлениемъ болѣе 3 пуд. на 1 кв. дюймъ; а въ замкѣ достаточно прочаго сопротивленія въ $1\frac{1}{2}$ пуда на 1 кв. дюймъ.

47. Разсчетъ ненагруженной полукруглой арки и пологихъ арокъ вообще.

Что касается разсчета ненагруженныхъ арокъ, то онъ будетъ нѣсколько проще, такъ какъ нѣть необходи-

димости дѣлить арку вертикальными линіями, а можно дѣлить линіями по направлению къ центру.

Приведемъ примѣръ. Даны арка, изображенная на рис. 155. Внутренний радиусъ равенъ 13,20 фута; ширина арки 11,20 фута

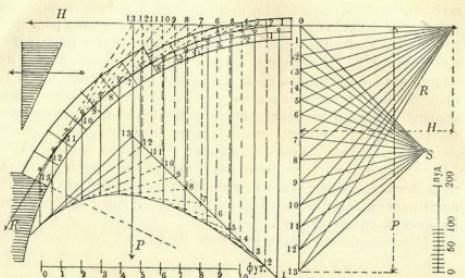


Рис. 155. Рассчетъ не нагруженной арки.

толщина въ замкѣ въ 1 кирпичъ, а къ пятамъ—въ $1\frac{1}{2}$ кирпича. Разбивъ арку плоскостями, проходящими черезъ ось и перпендикулярическѣ, на элементарныя части, опредѣляемъ грузъ каждого элемента.

Всѣхъ элементовъ на рисункѣ—13, соотвѣтствующихъ центральному углу въ 5° или $\frac{1}{72}$ окружности. Длина средней дуги элемента при радиусѣ, равномъ $13,20 + 0,42 = 13,62$ фута, будетъ равной

$$\frac{2 \pi \times 13,62}{72} = 1,12 \text{ фута};$$

При радиусѣ $13,20 + 0,65 = 13,85$ длина средней дуги элемента, равна

$$\frac{2 \pi \times 13,85}{72} = 1,18 \text{ фута.}$$

Слѣдовательно, грузы первыхъ шести элементовъ будутъ вѣсъ по

$$\frac{2 \pi \times 13,62}{72} \times 0,84 \times 3 = 2,98 \text{ пуда}$$

при длине элемента въ 1 футъ.

Грузы остальныхъ 7-ми элементовъ будуть по:

$$\frac{2 \pi \times 13,85}{72} \times 1,30 \times 3 = 4,70 \text{ пуда}$$

при той же длине элемента.

Переносъ по произвольному масштабу эти грузы на планъ силь, строимъ многоугольникъ силъ и веревочнаго и находимъ наибольшій изъ распоровъ, отвѣчающій 8-ому шву и равный 352,00 пуд. Принимъ этотъ распоръ за полюсное разстояніе и построивъ линію давленія, видимъ, что она проходитъ въ средней трети арки и при томъ очень плавно. Отсюда заключаемъ, что арка вполнѣ устойчива, какъ относительно вращенія, такъ и скольженія. Что же касается до прочности арки, то нѣть сомнѣнія, что она, какъ это всегда бываетъ въ устойчивыхъ ненагруженныхъ сводахъ, обладаетъ большимъ запасомъ таکової. Дѣйствительно, наибольшее напряженіе въ замкѣ будетъ:

$$\frac{2 \times 352}{0,84 \times 11,20 \times 12^2} = 0,5 \text{ пуда на}$$

1 квад. дюймъ, а въ пятахъ немножко больше.

Примѣчаніе. При аркахъ неравной толщины является часто сомнительнѣй, который изъ швовъ будетъ наиболѣе слабымъ или напряженѣйшимъ. Поэтому необходимо провѣрять на прочность не только шовъ замка и шовъ излома, но и швы, съ которыхъ начинается утолщеніе.

48. Рассчетъ несимметричныхъ арокъ.

Рассчетъ арокъ, несимметричныхъ по формѣ или по нагрузкѣ, значительно усложняется тѣмъ, что распоръ въ верхней точкѣ арки, оставаясь постояннымъ для обѣихъ половинъ, долженъ дать съ вѣсомъ отдельныхъ элементовъ линіи давленія, имѣющія разныи видъ. Вслѣдствіе этого является то, что если одна половина будетъ въ выгодныхъ условіяхъ равновѣсія, другая половина при тѣхъ же грузахъ,—очень невыгодна по формѣ.

Возьмемъ численный примѣръ для общаго случая, т. е. когда арка и по формѣ, и по нагрузкѣ несимметрична относительно вертикальной оси. Очевидно, расчетъ сводится къ опредѣленію кривой давленія, проходящей черезъ 3 данныхъ точки: одной въ замкѣ и двухъ въ пятахъ или въ швѣ излома. Выборъ точекъ произвольный; онѣ должны быть въ средней трети арки.

Пусть эти точки будут A , B , C (рис. 156). Тогда строимъ произвольный веревочный многоугольникъ изъ точекъ A , по по-

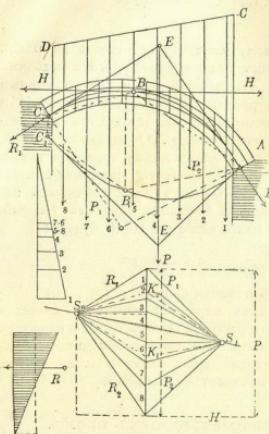


Рис. 156. Рассчетъ несимметрической арки.

и проводимъ на планѣ силь изъ точки K_2 линію $K_2 S_2$, пересѣкающую линію $K_1 S_2$ въ точкѣ S_2 , которая и будетъ полосомъ для веревочного многоугольника, проходящаго черезъ точки A , B , C ; полусное разстояніе точки S_2 , т. е. H есть величина искомаго распора. Построивъ линію давленій по полусе S_2 , видимъ, что она не выходитъ изъ средней трети и нигдѣ не образуетъ со швами угла менѣ 60° , — слѣдовательно, арка будетъ вполнѣ устойчивой какъ относительно вращеній, такъ и относительно скользженій. Что же касается прочности арки, то она опредѣляется, какъ и въ вышеприведенныхъ примѣрахъ.

Полученный распоръ и полученная линія давленій не будутъ минимальными для ядра сѣченій арки. Но это нисколько не уменьшаетъ значеній расчета, такъ какъ полученный распоръ больше минимальнаго, получаемаго посредствомъ ряда пробъ.

Только что изложенный способъ опредѣленія распора есть

самый общий и можетъ быть приложенъ ко всяkimъ аркамъ съ нагружкой или безъ оной.

Кладка несимметричныхъ арокъ ничѣмъ не отличается отъ кладки обыкновенныхъ. Надо только замѣтить, что несимметрично нагруженныя арки довольно неконструктивны въ смыслѣ устойчивости и должны быть при одинаковомъ пролѣтѣ и нагрузкѣ сравнительно съ симметричными значительно большей толщины, причемъ устойчивость тѣмъ меньше, чѣмъ больше разность нагрузки двухъ половинъ. Но если мы арку, имѣющую разные радиусы кривизны, нагрузимъ такъ, что въ стороны съ меньшимъ радиусомъ нагрузка будетъ больше, а въ стороны съ большимъ радиусомъ — соответственно меньше, то можемъ достигнуть того, что истинная линія давленія будетъ почти совпадать съ осью арки.

49. Толщина перемычекъ.

Здѣсь можетъ быть 4 случая.

I. Перемычка полукруглая.

Пролѣтъ a въ аршинахъ.	Толщина въ замкѣ Z_0 въ кирпичахъ.	Толщина въ пятахъ Z_1 въ кирпичахъ.
2	1	1 $\frac{1}{2}$
4	1 $\frac{1}{2}$	2
6	2	2
8	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$

При пролѣтѣ отъ трехъ саженей и болѣе толщина замка опредѣляется по формулѣ

$$Z_0 = \frac{a}{16} + 6;$$

въ пятахъ по формулѣ:

$$Z_1 = \frac{a}{16} + 9,$$

гдѣ всѣ величины взяты въ вершкахъ. Такъ, напр., если пролѣтѣ 12 аршинъ, то толщина замка равна $\frac{12 \times 16}{16} + 6 = 18$ вершк.

$$\text{или } \frac{18}{6} = 3 \text{ кирпича,}$$

а въ пятахъ, слѣдовательно, $3^{1/2}$ кирпича.

II. Перемычка пологая или эллиптическая и коробовая.

Пролѣтъ a въ аршинахъ.	Толщина замка Z_0 въ кирпичахъ.	Толщина пять Z_1 въ кирпичахъ.
2	$1^{1/2}$	$1^{1/2}$
4	2	2
6	$2^{1/2}$	$2^{1/2}$
8	3	3

При пролѣтѣ отъ 3-хъ саж. и болѣе толщина опредѣляется по формулѣ:

$$Z_0 = Z_1 = \frac{a}{16} + 12.$$

III. Перемычка стрѣльчатая.

Пролѣтъ a въ аршинахъ.	Толщина замка и пять $Z_0 = Z_1$ въ кирпичахъ.
2	$1^{1/2}$
4	1
6	$1^{1/2}$
8	2

При пролетахъ отъ 3-хъ саженей и болѣе толщина опредѣляется по формулѣ:

$$Z = Z_1 = \frac{a}{16} + 3.$$

IV. Перемычка плоская.

Пролѣтъ a въ аршинахъ.	Толщина замка Z_0 въ кирпичахъ.	Толщина въ пятахъ Z_1 въ кирпичахъ.
1 $\frac{1}{2}$	$1^{1/2}$	$1^{1/2}$
2	2	2
4	$2^{1/2}$	$2^{1/2}$
5	3	3
6	4	4

Дѣлать плоскія перемычки болѣе 2-хъ саженей въ пролѣтѣ не слѣдуетъ.

Определеніе распора перемычекъ является излишнимъ, такъ какъ опоры абсолютно устойчивы. Исключеніе составляетъ крайняя перемычка на углу зданія, распоръ котораго опредѣляется графически или аналитически по правиламъ изложеннымъ выше для арокъ; впрочемъ, по одному чувству пропорциональности, самые угловые устои проектируются такъ, что устойчивость ихъ почти всегда съ большимъ запасомъ.

Перемычки изъ естественного камня необходимо дѣлать толщиной или одинаковою съ кирпичными, или толще; сдѣланная же изъ тесаннаго камня больше зависить отъ крупности облицовки стѣнъ и могутъ быть даже нѣсколько менѣшей толщины, чѣмъ кирпичные.

II. Паруса.

50. О парусахъ вообще.

Парусами вообще принято называть угловое заполнение между стѣнами или арками, служащее для поддержания вышележащихъ стѣнъ, не переходящихъ непосредственно на нижней (рис. 157); иначе говоря, парусъ служить для перехода отъ одной формы плана къ другой, если эта другая форма плана отвѣчаетъ части сооруженій, лежащей выше первой. Какъ по своей формѣ, такъ и по передачѣ давленія на стѣны, паруса отличаются большимъ разнообразіемъ. Мы раздѣлимъ ихъ на четыре группы: 1) перемычечные, 2) кронштейнъ, 3) конические и 4) сферические.

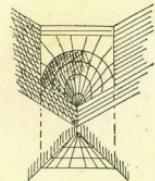


Рис. 157. Парусъ въ видѣ конической перемычки.

Перемычечный парусъ представляетъ обыкновенную арку или перемычку, перекрывающую угол какого либо помѣщенія для того, чтобы нести на себѣ грузъ стѣны лежащей поперекъ угла выше стѣнъ данного помѣщенія (рис. 158). Такимъ образомъ парусъ этотъ отличается отъ простой перемычки только тѣмъ, что не перекрываетъ отверстія въ стѣнѣ, а угол между стѣнами.

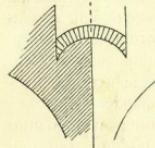


Рис. 158. Простейший видъ перемычечного паруса.

Приведенный примѣръ перемычечного паруса самый простой. Но такая форма этого паруса не отличается красотой и какъ бы не вяжется съ линиями стѣнъ, представляя рѣзкій переходъ съ помощью горизонтального перекрытия угла. Поэтому, чтобы нѣсколько

смягчить этотъ переходъ, дѣлаютъ рядъ перемычекъ одну надъ другой разныхъ размѣровъ (рис. 159). Такой парусъ можно назвать перемычечнымъ перекатнымъ, такъ какъ онъ имѣеть всѣ недостатки перекатныхъ арокъ вообще. Если стесать у послѣдняго паруса выступающія части подъ одну поверхность, то получимъ парусъ, показанный на рис. 160. Парусъ этотъ по наружному виду будетъ похожъ на паруса другихъ группъ и отличить его можно только по видимымъ вертикальнымъ швамъ, которыхъ въ другихъ парусахъ не имѣются.

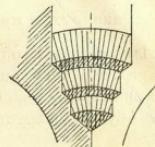


Рис. 159. Парусъ изъ перекатныхъ перемычекъ.

Еще болѣе простымъ, чѣмъ перемычечный парусъ, является парусъ кронштейнъ. Онъ состоить въ томъ, что въ улу между стѣнами постепенно выпускается камень на небольшую часть, такъ что диагональный разрѣзъ получаетъ видъ зубчатки (рис. 161), а такъ

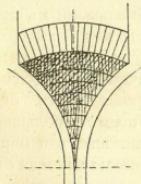


Рис. 160. Парусъ изъ перекатныхъ перемычекъ безъ уступовъ.

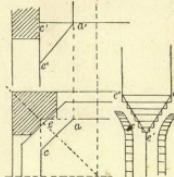


Рис. 161. Кронштейнъ парусъ.

какъ всѣ висячія части сооруженія, несущія известный грузъ, носятъ название кронштейновъ, то и парусамъ этимъ дано такое название. Здѣсь также, какъ и въ перемычечномъ парусѣ могутъ быть стесаны выступающія части и тогда поверхность паруса будетъ ров-

ной—плоской или кривой, смотря по желанию автора проекта.

51. Рассчет и кладка перемычечного паруса.

Изъ сказанного о перемычечномъ парусѣ вытекаетъ, что расчетъ его аналогиченъ расчету простыхъ нагруженныхъ арокъ. Простѣйшимъ случаемъ для расчета будетъ парусъ, показанный на рис. 162. Дѣй-

ствительно, здѣсь мы имѣемъ простую арку съ косыми пятами на подобіе оконныхъ перемычекъ съ откосами. Кладка такой перемычки (въ данномъ случаѣ паруса) совершенно аналогична сказанному выше въ § 47, т. е. пяты мы дѣляемъ нормальными къ линіи щековой поверхности перемычки, причемъ наиболѣе широкія части будутъ имѣть большее число швовъ и кирпичей, но начиная съ извѣстокорого мѣста перемычка будетъ

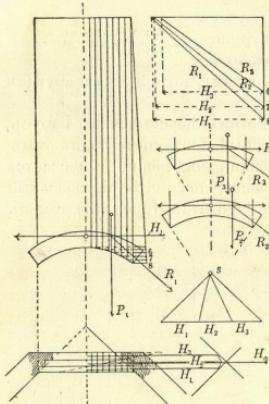


Рис. 162. Рассчетъ перемычечного паруса.

дѣйствительно съ перевязью всѣхъ швовъ. На этомъ основаніи и разсчетъ перемычечного паруса дѣлается такъ: дѣлимъ всю перемычку на нѣсколько узкихъ арочекъ (3) и опредѣляемъ распоръ каждой изъ нихъ самостоятельно. Затѣмъ складываемъ распоры и равнодѣйствующую и получаемъ всѣ усилія переходящія на опоры.

Въ данномъ случаѣ, согласно масштабу проекта и масштабу силъ, распоръ наибольшей арки равенъ 785 пудамъ, при нагрузкѣ на полуарку въ $1 \times 7 \times 36 \times 3 = 756$ пудовъ. Точно также распоръ II-й арки при грузѣ въ $1 \times 6 \times 36 \times 3 = 648$ пудовъ равенъ 760 пудамъ.

И, наконецъ, распоръ III-й арки, при грузѣ въ $1 \times 5 \times 35.6 \times 3 = 534$ пуда, равенъ 700 пудамъ.

Такимъ образомъ весъ распоръ паруса равенъ $785 + 700 + 700 = 2245$ пудамъ.

Такъ какъ парусъ одинаковой толщины, то наибольшее напряженіе будетъ въ пяткахъ наибольшей изъ арокъ. Равнодѣйствующая сила здѣсь $R_1 = 1050$ пудамъ, а площадь пяты $1 \times 3 = 3$ кв. фута или $3 \times 144 = 432$ кв. дюйма.

Слѣдовательно, наибольшее напряженіе равно

$$\frac{1050 \times 2}{432} = 4.86 \text{ пуда на 1 кв. дюймъ.}$$

Это показываетъ, что для кирпичного паруса, при сопротивленіи кирпича 3 пуда на 1 кв. дюймъ толщину паруса надо увеличить по крайней мѣрѣ до 4.5 фута.

При кладкѣ перемычечного паруса соблюдаются всѣ правила кладки арокъ и перемычекъ вообще. Наиболѣе опаснымъ мѣстомъ является пята паруса, которая часто упирается не въ стѣну, а въ подпружную арку.

Главный недостатокъ перемычечного паруса — это свойство передавать давление на опредѣленную площадь; въ виду этого, то мѣсто въ стѣнѣ, на которое упирается парусъ, чрезвычайно напряжено и камни стѣны могутъ быть выдвинуты изъ своихъ мѣстъ. Во избѣженіе послѣдняго обстоятельства закладываютъ въ перемычечномъ парусѣ связи, которыя можно легко скрыть нижними или перекатными перемычками.

При перекатныхъ перемычкахъ давление принимается на себя не только верхняя перемычка, а также и нижня. Опредѣлить же, сколько груза переходитъ на каждую перекатную перемычку — невозможно. Поэтому въ практикѣ поступаютъ такъ: придаютъ конструктивное значение только верхней (наибольшей) изъ перекатныхъ арокъ, для чего между вѣрхней и нижними оставляется извѣстокорое пустое пространство, скрываемое

уже впослѣдствій штукатуркой; всѣ остальные перекрытия арочки будуть служить лишь декорацией и носить свой собственный грузъ.

Перемычечные паруса употребляются и въ тѣхъ случаяхъ, когда поддерживаютъ круглый барабанъ. Но, очевидно, небольшіи части барабана будуть на вѣсу или должны быть поддержаны малыми перемычками, упирающимися въ главную (рис. 163).

52. Расчетъ и кладка кронштейнаго паруса.

Кронштейнаго паруса, представляющій собою рядъ камней, напущенныхъ на стѣну, подвергается главнымъ образомъ перерѣзывающимъ усилиямъ, почему и слѣдуетъ разсчитывать высоту паруса, но не толщину, которая здѣсь сливается къ кладкѣ стѣны.

Возьмемъ тѣль же численный примеръ, который былъ взятъ для перемычечного паруса. Весь грузъ на парусъ, какъ мы видимъ, равенъ $2(756+648+534)=3876$ пудамъ.

Срѣзываемъ площадь, какъ видно изъ чертежа, будетъ (рис. 164) равна: $8 \times 4.5 + 4.5^2 = 50.25$ кв. футамъ или $56.25 \times 144 = 8100$ кв. дюймамъ; напряженіе на срѣзываніе будетъ:

$$\frac{3876}{8100} = 0.48 \text{ пуда на 1 кв. дюйм.}$$

а такъ какъ сопротивленіе камня срѣзыванию въ 10 разъ менѣе, чѣмъ сжатію, то сопротивленіе материала сжатію должно быть не менѣе $0.48 \times 10 = 4.8$ пуда на 1 кв.

Рис. 163. Перемычечные паруса при кругломъ барабанѣ.

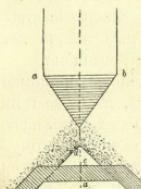


Рис. 164. Расчетъ кронштейнаго паруса.

дюймъ, для чего кирпичъ уже не годенъ, такъ какъ высоту паруса увеличить нельзя безъ измѣненія формы его.

Кронштейнаго паруса употребляется только тогда, когда размѣры его невелики и не превосходятъ одной сажени въ пролѣтѣ перекрываемаго угла, такъ какъ иначе нельзя считать на перерѣзываніе всю высоту кладки паруса и въ перерѣзываемомъ сѣченіи паруса могутъ случиться швы, уменьшающіе очень значительно перерѣзываемую поверхность сопротивленія (рис. 165).

Въ этомъ отношеніи кронштейнаго паруса отличается тѣми же недостатками сравнительно съ перемычечными, какими отличается всякое архитравное перекрытие сравнительно съ перекрытиемъ сводчатымъ или арочнымъ.

Какъ и кладку перемычечного паруса, кладку кронштейнаго слѣдуетъ предпочтительно дѣлать на цементномъ растворѣ; кружало для кронштейнаго паруса вовсе не нужно.

53. Проектирование сферического паруса.

Сферическій парусъ получилъ свое извѣстіе вслѣдствіе того, что поверхность его есть поверхность шара или другихъ тѣл вращенія, носящихъ общее название сфероидовъ.

Если мы имѣемъ, напримѣръ, часть сферического тѣла (рис. 166) и отсѣчимъ отъ него вертикальными плоскостями четыре сегменты съ боковъ и одинъ сверху, то останутся четыре сферическихъ треугольника, которые и составлять по-

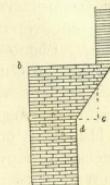


Рис. 165. Кладка кронштейнаго паруса.

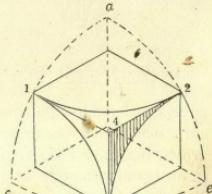


Рис. 166. Происхожденіе сферического паруса.

верхность сферического паруса. Такимъ образомъ, чтобы получить один сферический парусъ мы въ $\frac{1}{8}$ часть шара или вообще сфероида вписываемъ кубъ или параллелопипедъ, у котораго нижнее съченіе квадратъ и умѣщается въ $\frac{1}{4}$ окружности, а верхнее основаніе умѣщается въ $\frac{1}{4}$ сфероида только частью своего основанія, а именно: площадью равной четверти круга; остальная часть основанія въ видѣ плоскаго треугольника со стороныю равной $\frac{1}{4}$ круга будеть выступать изъ $\frac{1}{4}$ сфероида и образуетъ верхнюю поверхность сферического паруса. Всѣхъ такихъ поверхностей парусъ имѣть три; четвертая же есть поверхность не плоская, а сферическая.

На этомъ основаніи, чтобы получить проекціи сферического паруса поступаемъ такъ (рис. 167): пусть будетъ планъ квадратной формы, въ которомъ вписанъ кругъ, представляющій верхнюю линію паруса (или паруснаго кольца). Этотъ кругъ есть вмѣстѣ съ тѣмъ линія съченія стѣнъ выше паруса, такъ что данный парусъ служитъ переходомъ отъ квадратнаго плана къ

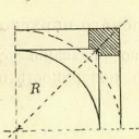


Рис. 167. Проектированіе сферического паруса.

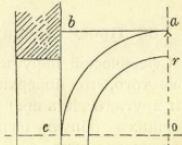


Рис. 168. Поперечный разрѣз подвѣшеной арки съ парусомъ.

округлому плану барабана; кромѣ того кругъ этотъ есть основаніе сегмента, отстѣкаемаго отъ шара. На этомъ основаніи диаметръ шара, изъ котораго полученъ данный парусъ, будеть равенъ диагонали квадрата (R). Такимъ образомъ, чтобы получить поперечный разрѣзъ изъ плана (рис. 168) и на разрѣзѣ линіи паруса, опи- сываемъ радиусомъ круга (r) изъ точки (o), лежащей

на оси барабана и высотѣ пять, кругъ и къ нему проводимъ касательную въ точкѣ пересѣченія съ осью. Тогда треугольникъ abc и будетъ представлять собою линіи паруса въ поперечномъ разрѣзѣ зданія. Для получения диагонального разрѣза имѣемъ кругъ паруснаго кольца въ видѣ горизонтальной линіи mn , а диагональный разрѣзъ паруса въ видѣ дуги, описанной изъ точки o радиусомъ R_0 . Тогда треугольникъ cde есть диагональное съченіе паруса (см. рис. 176).

Сферическіе паруса могутъ быть раздѣлены на острые и тупые; разсмотрѣнная форма паруса острая; тупая получится тогда, когда уголъ плана скошенъ (рис. 169). Здѣсь радиусъ шара, изъ котораго получается поверхность паруса, будеть линія R_0 (см. рис. 175).

Но какъ видно изъ плана, этотъ радиусъ описываетъ дугу заходящую въ кладку столба, а потому въ диагональномъ разрѣзѣ линія паруса не совпадаетъ съ линіей стѣны и образуется небольшой уступъ q . Этотъ уступъ въ натурѣ маскируется или штукатуркой или скрывается карнизомъ на высотѣ начала паруса.

Положимъ, что намъ заданъ планъ помѣщенія и требуется спроектировать разрѣзы съ парусами при данной высотѣ послѣднихъ, иначе говоря, данъ планъ и высота линіи паруснаго кольца отъ начала паруса. Такъ какъ высота эта больше радиуса круга, вписанного въ квадратъ плана, то заключаемъ, что тѣло вращенія, изъ котораго получена поверхность паруса представляетъ эллипсоидъ вращенія вокругъ большой оси. Поэтому, какъ въ поперечномъ разрѣзѣ, такъ и въ диагональномъ, слѣдуетъ найти такія кривыя, которыя

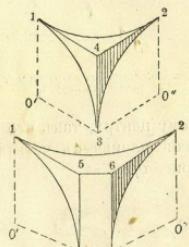


Рис. 169. Острый и тупой сферический парусъ.

будут вписаными въ параллелограммы со сторонами равными пролету и высотѣ. Достоинства сферического паруса заключаются въ томъ, что диаграмма нагрузки на стѣну отъ барабана будетъ весьма равномѣрной (рис. 170).

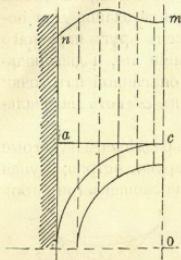


Рис. 170. Диаграмма нагрузки при сферическомъ парусѣ.

54. Кладка сферического паруса.

Такъ какъ лицевая (видимая снизу) поверхность паруса сферическая, а по правиламъ кладки требуется, чтобы швы были нормальны къ лицевой поверхности, то, очевидно, швы камней сферического (шарового) паруса должны идти къ одному центру, такъ что камни будутъ представлять изъ себя клинья съ четырьмя наклонными поверхностями (рис. 171).

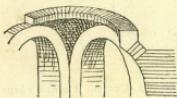


Рис. 171. Парусное кольцо и собственно парусъ.

При этомъ надо замѣтить, что всякий парусъ состоитъ изъ двухъ частей: собственно сводчатой кладки и изъ забутки. Когда мы опредѣляемъ грузъ паруса, то мы должны находить весь вѣсъ съ забуткой; когда же разсчитываемъ прочность паруса, то принимаемъ во вниманіе только сводчатую кладку; это совершенно аналогично нагруженнымъ аркамъ, где грузъ берется для всей арки съ надбуквой, а при расчетѣ прочности берется только площадь шва арочной кладки.

Соответственно сказанному кладка паруса двоякая: собственно сводчатая со швами по направлению къ центру и забутка со швами горизонтальными.

Сводчатая кладка паруса будетъ врѣзываться въ

стѣну или арку всюю боковою поверхностью и при томъ (рис. 172) не прямою плоскостью, а уступами или скосенными поверхностями.

Вотъ почему для удобства кладки парусъ этотъ возводится всегда одновременно съ кладкой стѣнъ и арокъ; для лучшей перевязи слѣдуетъ кладку паруса вести горизонтальными рядами до извѣстнаго угла.

Обыкновенно сферический парусъ служитъ переходной частью отъ квадратного пространства къ круглому барабану, причемъ между кладкой паруса и барабана будетъ лежать сводное кольцо, называемое паруснымъ. Кладка парусного кольца ничѣмъ не отличается отъ кладки сводныхъ колецъ вообще. Одна особенность этого кольца заключается въ томъ, что кольцо лежитъ одновременно не только на парусахъ, но и на стѣнѣ или аркѣ (рис. 173). Послѣднее обстоятельство затрудняетъ кладку кольца тѣмъ, что пятью кольца наѣтъ стѣнами или арками приходится вытесывать особо, что

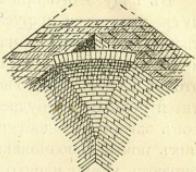


Рис. 172. Кладка сферического паруса у пяты.

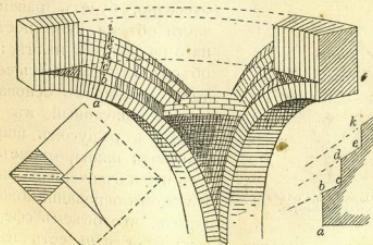


Рис. 173. Деталь кладки сферического паруса, врѣзанного въ подпружинные арки.

весьма неудобно, такъ какъ арку класть одновременно съ паруснымъ кольцомъ невозможнo.

Въ виду этого при кладкѣ арокъ, въ которыя будуть опираться паруса, необходимо установить тщательно кружала для парусовъ и затѣмъ при кладкѣ арокъ вытесывать пяты для парусовъ. Какъ бы однако это ни казалось легко выполнимымъ, на практикѣ встрѣчается большій затрудненія, такъ какъ кружала парусовъ загородятъ доступъ къ аркамъ и кладка послѣднихъ почти невозможна; поэтому до кладки арокъ собираютъ камни насухо и вытесываютъ пяты для парусовъ и кольца какъ можно тщательнѣе и затѣмъ, разобравъ эту арку, а также кружала для парусовъ, начинаютъ класть безъ послѣднихъ.

Нерѣдко встрѣчаются паруса и арки изъ бетона; такая конструкція, благодаря монолитности, весьма рациональна.

55. Определеніе объема и поверхности сферического паруса. Центръ тяжести паруса.

Определеніе объема сферического паруса съ забуткой несложно только въ томъ случаѣ, когда парусъ будетъ шаровымъ. Если мы имѣемъ, напримѣръ, острый сферический (шаровой) парусъ, то объемъ его (рис. 174), очевидно, будетъ равенъ $\frac{1}{8}$ части объема куба, построенного на данномъ планѣ, плюсъ объемъ 6-ти шаровыхъ сегментовъ, имѣющихъ основаніемъ кругъ, вписанный въ этотъ планъ, а радиусомъ шара $\frac{1}{8}$ диагонали плана, минусъ объемъ шара означенного радиусомъ. На этомъ основаніи можно написать, что объемъ сферического острого паруса $V = m R^3$, гдѣ m есть нѣкоторый постоянный коэффициентъ, а R радиусъ шара, рав-

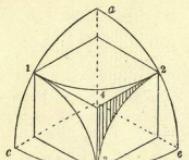


Рис. 174. Определеніе объема сферического паруса.

ный $\frac{1}{8}$ диагонали плана. Для определенія m имѣемъ слѣдующія данныя:

1) объемъ означенного выше куба равенъ:

$$\left(\frac{2R}{\sqrt{2}}\right)^3 = \frac{8R^3}{2\sqrt{2}},$$

2) объемъ шара равенъ

$$\frac{4\pi R^3}{3},$$

3) объемъ 6-ти шаровыхъ сегментовъ равенъ:

$$6 \left\{ \frac{2\pi}{3} R^2 \left(R - \frac{R}{\sqrt{2}} \right) - \frac{\pi R^2}{2} \cdot \frac{R}{3\sqrt{2}} \right\} = 6\pi R^3 \left\{ \frac{2}{3} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) - \frac{1}{6\sqrt{2}} \right\},$$

откуда

$$8V = \frac{8R^3}{2\sqrt{2}} + 6\pi R^3 \left\{ \frac{2}{3} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) - \frac{1}{6\sqrt{2}} \right\} = \frac{4\pi R^3}{3},$$

или $V = 0,012348 R^3$, т. е. коэффициентъ m будетъ равенъ 0,012348, или приблизительно $m = \frac{1}{80}$.

Такимъ образомъ, если требуется найти, напр., объемъ паруса квадратнаго плана со стороной 7 саженей, то R равно почти 5 саженямъ, а следовательно, объемъ паруса будетъ

$$\frac{5^3}{80} = 1,5625 \text{ кубическихъ сажени.}$$

Когда парусъ будетъ сферической тупой (рис. 175), то оп-

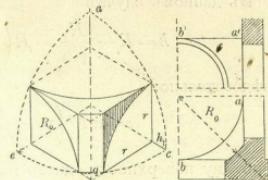


Рис. 175. Определеніе объема тупого сферического паруса.

* Бернгардъ: „Церковные паруса“—1892 г.

пределение объема будете сложнее, так как не может быть приведено к виду mR^3 , точная формула для этого объема будете:

$$V = M - N - S,$$

где

$$\begin{aligned} M &= (R_o - h_1)^2 \times r; \\ N &= \left\{ \frac{\pi R_o^3}{6} - \left[\frac{\pi h_1^2}{2} \left(R_o - \frac{h_1}{3} \right) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{\pi}{4} (R_o - r)^2 \times (2R_o + r) \right] \right\}; \\ S &= \left[R_o - (h_1 + r) \right]^2 \frac{r}{2}. \end{aligned}$$

Для определения поверхности сферического паруса, если постепенный будете острый шаровым, имеемъ следующий данные изъ поверхности шара необходимо вычесть поверхности 6-ти сегментовъ и остатокъ дѣлить на 8. Какъ известно изъ геометрии, поверхность шара равна четыремъ площадямъ большого круга, т. е. $S = 4\pi R^2$. Поверхность сегмента равна окружности большого круга, умноженной на стрѣлку (высоту) сегмента, т. е. равна $s = 2\pi R \cdot h$.

Въ данномъ случаѣ

$$h = R - \frac{R}{\sqrt{2}} = R \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right);$$

следовательно:

$$s = 2\pi R^2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right),$$

а потому поверхность одного паруса равна

$$s_o = \frac{4\pi R^2 - 6 \times 2\pi R^2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right)}{8} = 0,155 R^2.$$

Поверхность острого эллиптическаго паруса равна почти $0,155 ab$, где a и b суть большая и малая ось.

Поверхность тупого паруса получится точно также, т. е. изъ поверхности шара вычитаемъ 6 поверхностей сегментовъ и дѣлимъ остатокъ на 8; но выразить эту поверхность въ зависимости отъ R нельзя, такъ какъ сюда войдетъ еще радиусъ круга, служащаго основаниемъ сегмента и находящагося въ зависимости отъ величины склоненности угла въ планѣ.

Что касается центра тяжести паруса, то, какъ показали примѣрные вычисления, онъ проходитъ почти

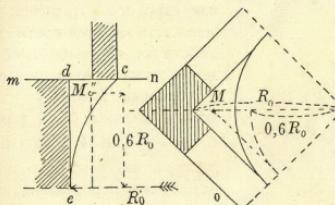


Рис. 17б. Центръ тяжести сферического паруса.

черезъ средину отрезка диагонали въ планѣ (между угломъ и линией парусного кольца), т. е. черезъ точку M (рис. 17б).

56. Рассчетъ и толщина сферического паруса.

Чтобы определить распоръ сферического паруса и прочность его, необходимо знать толщину паруса. Показанныя до расчета принимаются приближенной на основании практическихъ данныхъ и окончательно можетъ быть установлена послѣ того, какъ найденъ распоръ.

Толщину паруса принято дѣлать не менѣе $2^{1/2}$ кирпичей, т. е. не менѣе одного аршина. Точка приложе-

нія распора (рис. 177) будетъ найдена изъ слѣдующихъ данныхъ: по принципу условно-устойчиваго равновѣсія распоръ долженъ проходить въ верхней трети замка или въ данномъ случаѣ въ верхней трети толщины паруснаго кольца. Но толщина кольца намъ неизвѣстна и потому слѣдуетъ ее опредѣлить. Для послѣдней цѣли, въ діагональномъ разрѣзѣ паруса проводить линіи, ограничивающія среднюю треть толщины паруса или ядро его; въ точкѣ пересѣченія дуги верхней трети съ равнодѣйствующей силы барабана будетъ точка приложения распора, а толщина (высота) паруснаго кольца должна быть равной $3a$, гдѣ $a = \frac{b}{2}$, а b есть расстояніе распора по вертикальной линіи отъ точки пересѣченія означенной силы съ нижней линіей паруса. Что касается шва излома въ діагональномъ сѣченіи, то та-ковая получится отъ нажимающей трети изъ точки пересѣченія распора съ равнодѣйствующей силы въ барабанѣ, т. е. шовъ излома проходитъ черезъ точку k .

Остается опредѣлить, какой грузъ приходится на парусъ. Для этого разсуждаемъ такъ: на парусъ давить часть барабана, имѣющаго сѣченіемъ четырехугольникъ $itsw$, а слѣдовательно, грузъ отъ барабана равенъ объему тѣла сѣченіемъ $istw$ и высотою h , умноженному на вѣсъ кубической единицы.

Вѣсто площиади $itsw$ часто берутъ площиаду $efdc$, которая почти равновелика этой площиади, и квадратное содержаніе которой легче опредѣлить.

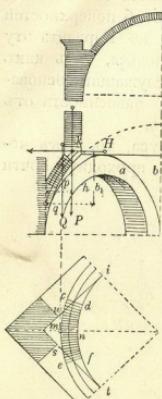


Рис. 177. Упрощенный расчетъ сферического паруса.

Кромѣ груза отъ барабана или стѣнъ надо принять въ разсчетъ и грузъ самого паруса.

Такимъ образомъ мы будемъ имѣть два груза и распоръ, которые и складываемъ.

При подобномъ разсчетѣ допущены многія неточности; чтобы показать, что неточности эти не играютъ почти никакой роли, возьмемъ числennyй примеръ и разсчитаемъ парусъ сначала раздѣленнымъ на элементы вертикальными плоскостями, проходящими черезъ ось паруса и затѣмъ безъ раздѣленія на элементы, какъ сказано выше. Итакъ, пустъ требуется разсчитать парусъ, изображенный на рис. 178.

Раздѣлимъ парусъ на 5 элементовъ; диаграмму нагруки паруснаго кольца составляеть линія MN , которую примемъ за горизонтальную. Возьмемъ среднюю (i) элементарную арку. Абсолютная величина распора этой арки получается изъ слѣдующихъ данныхъ: объемъ кладки, составляющей нагрузку, равенъ $P_1 = P_2 = P_3 = 5 \times 15 \times 2 = 150$ куб. футовъ, что соста-витъ $150 \times 3 = 450$ пуд.; объемъ кладки арки равенъ $\mathcal{Q}_1 = 2(0,0032 + 0,00157) 15^3$, что составитъ $2(0,0032 + 0,00157) 15^3 \times 3 = 195$ пудовъ; слѣдовательно распоръ H_1 будетъ равенъ

$$H_1 = \frac{450 \times 45 + 195 \times 3}{93} = 270 \text{ пудовъ.}$$

Взявъ Π -ю арку имѣемъ: $P_2 = 450$ пудовъ; $\mathcal{Q}_2 = 0,0014 \times 19^3 \times 3 = 29$ пудовъ; слѣдовательно:

$$H_2 = \frac{450 \times 0,5}{1,5} = 150 \text{ пудовъ,}$$

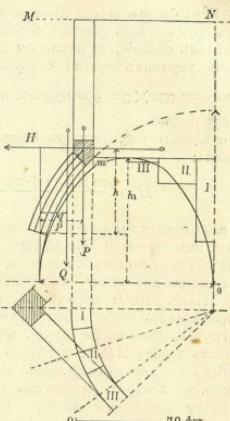


Рис. 178. Расчетъ сферического паруса по залеганіямъ.

$P_2 = 450$ пуд.; $Q_2 = \frac{255 - 195 - 2 \times 29}{2} = 1$ пуд. и, следовательно, распоръ III-й арочки равенъ нулю.

Суммируя полученные распоры, имѣмъ:

$$H_x = H_1 + 2H_2 \cdot c^2 s 18^\circ + 2H_3 \cdot c^2 s 36^\circ = 270 + 2 \times 150 \times 0,95 = \\ = 555 \text{ пудовъ.}$$

Если бы мы вмѣсто дѣленія паруса на части предположили весь грузъ и весь распоръ сосредоточенными въ одномъ диагональномъ сбѣченіи, то имѣли бы слѣдующія данныя:

грузъ верхніхъ частей сооруженія $P = 2 \times 15 \times 11 = 330$ куб. фута или $330 \times 3 = 990$ пудовъ; вѣсъ паруса $3 \times \frac{R^3}{80} = \frac{10^3}{80} \times 3 = 255$ пудовъ, и, следовательно, распоръ былъ бы по направлению диагонали равенъ:

$$H = \frac{990 \times 4,50 + 255 \times 3}{9,3} = 560 \text{ пудовъ,}$$

т. е. получили бы почти тождественный результатъ. Поэтому, въ практикѣ принято опредѣлять распоръ паруса этимъ послѣднимъ (упрощеннымъ) способомъ, причемъ точность болѣе, чѣмъ достаточна для цѣлей строительного дѣла.

Итакъ, чтобы опредѣлить распоръ сферического паруса, опредѣляемъ вѣсъ верхніхъ частей сооруженія по диаграммѣ нагрузки, причемъ на парусъ передѣгь вѣсъ цилиндра въ предѣлѣахъ точекъ AB , т. е. точекъ пересѣченія средней линии барабана съ внутренней линией арки (въ планѣ); затѣмъ опредѣляемъ вѣсъ паруса и центръ тяжести его; имѣя точку излома и точку приложения распора, получаемъ уравненіе равновѣсія, изъ котораго опредѣляемъ величину этого распора. Затѣмъ строимъ кривую давленія и опредѣляемъ прочность паруса.

Для послѣдней цѣли достаточно опредѣлить прочность пятивогового шва паруснаго кольца, такъ какъ остальные сбѣченія паруса будутъ въ условіяхъ болѣе выгодныхъ. Въ данномъ случаѣ имѣмъ: величина равнодѣйствующей R равна

$$R = \sqrt{P^2 + H^2} = \sqrt{990^2 + 560^2} = 1136 \text{ пуд.}$$

Среднее напряженіе пятъ равно:

$$\frac{1136}{11 \times 2 \times 144} = 0,36 \text{ пуда;}$$

наибольшее не превосходитъ $0,36 \times 2 = 0,72$ пуда.

57. Проектирование и кладка конического паруса.

Конический парусъ очень похожъ на сферический какъ по кладкѣ, такъ и по разсчету устойчивости. Отличается отъ сферического тѣмъ, что лицевая поверхность его есть поверхность коническая (рис. 179), такъ какъ парусъ получается отсѣченіемъ у конуса частей вертикальными плоскостями. Понятно, что сбѣ-

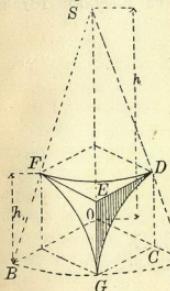


Рис. 179. Проектирование конического паруса.

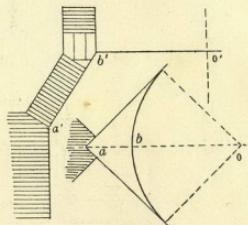


Рис. 180. Планъ и разрѣзъ конического паруса.

ченія эти даютъ кривую гиперболу, которая и будетъ видна въ поперечномъ разрѣзѣ; диагональный же разрѣзъ дасть линію прямую (рис. 180).

Послѣднее обстоятельство показываетъ, что кладка конического паруса будетъ изъ камней, у которыхъ только двѣ стороны наклонны, а четыре параллельны, такъ что въ разрѣзѣ диагональномъ швы камней идутъ въ одномъ направленіи, перпендикулярномъ линіи паруса.

Конический парусъ рѣдко употребляется въ практикѣ, такъ какъ въ диагональномъ сбѣченіи переходъ отъ вертикали къ диагональной поверхности не плавный, а угловой, что дѣлаетъ конический парусъ неспокойнымъ и похожимъ на кронштейнъ. Во всѣхъ случаяхъ, где можно, конический парусъ замѣняютъ въ настоящее время сферическимъ.

58. Диаграммы нагрузокъ отъ парусовъ на стѣны и арки.

Чтобы видѣть конструктивные достоинства и недостатки разного вида парусовъ, обратимся къ диаграммамъ, какія получаются отъ нагрузки барабана на стѣны или подпружныхъ аркъ. Пусть будетъ данъ купольный перекв въ родѣ показанной на рисункѣ 181 и



Рис. 181. Разрѣзъ церкви съ парусами.

требуется определить диаграмму нагрузки главной подпружной арки. Прежде всего разсмотримъ какіе грузы переходятъ на арку.

Грузы эти суть слѣдующіе:

А) Грузъ верхнихъ частей барабана съ купольнымъ сводомъ и съ купольнымъ покрытиемъ, переходящій на парусное кольцо. Предположимъ, что грузъ этотъ нами опредѣленъ и равенъ 11530,52 пуда.

Б) Грузъ половины арки, который также принимаемъ какъ бы извѣстнымъ, равенъ 1789,51 пуда.

В) Грузъ части паруса.

Чтобы нагляднѣе представить диаграмму нагрузки, замѣтимъ, что забутка до парусного кольца равна ширинѣ арки, а слѣдовательно, диаграмма отъ забутки выразится прямой линіей MN (рис. 182).

Теперь будемъ строить отдельно: диаграмму отъ грузовъ непосредственно (вертикально) переходящихъ на арку, диаграмму отъ грузовъ, переходящихъ посредствомъ парусовъ и диаграмму отъ груза паруса.

Грузъ отъ верхнихъ частей сооружений, какъ сказано, до парусного кольца, т. е. до линій MN , равенъ 11530,52 пуда. Грузъ этотъ передается на парусное кольцо, которой поверхность равна:

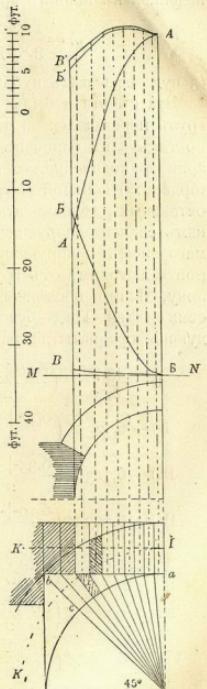


Рис. 182. Построение диаграммы нагрузки отъ сферического паруса.

$$S = \pi (24,8^2 - 18,30^2) = 879,64 \text{ кв. фута},$$

следовательно, высота нагрузки верхнихъ частей, приведенная къ ширинѣ арки и кольца, равна:

$$h = \frac{11530,35^2}{3 \times 879,64} = 43,70 \text{ фута}$$

(з пуда есть вѣсъ кубического фута кирпичной кладки).

Эта высота и была бы диаграммой, если бы весь грузъ передавался на всю поверхность арки одинаково; но такъ какъ барабанъ и парусное кольцо круглы, а арка прямолинейна, то только въ замкѣ арки высота (ордината) искомой диаграммы будетъ 43,70 фута. Въ остальныхъ точкахъ эта высота пропорциональна стрѣлкамъ сегмента парусного кольца (въ планѣ), отсѣкаемаго линией подпружной арки. Поэтому, чтобы построить диаграмму отъ грузовъ, прямо переходящихъ на арку, дѣлимъ послѣднюю въ планѣ и разрѣзъ на восемь частей. Тогда будемъ имѣть приблизительно слѣдующія ordinаты диаграммы, а именно:

$$\text{I}) \quad \frac{43,70}{6,50} \cdot \left(\frac{6,50 + 6,45}{2} \right) = 43,53 \text{ фута.}$$

$$\text{II}) \quad 6,723 \times \left(\frac{6,45 + 6,35}{2} \right) = 43,027, \text{ где } 6,723 = \frac{43,70}{6,5}.$$

$$\text{III}) \quad 6,723 \times \left(\frac{6,35 + 6,10}{2} \right) = 41,850 \text{ фута.}$$

$$\text{IV}) \quad 6,723 \times \left(\frac{6,10 + 5,75}{2} \right) = 39,833 \text{ "}$$

$$\text{V}) \quad 6,723 \times \left(\frac{5,75 + 5,30}{2} \right) = 37,144 \text{ "}$$

$$\text{VI}) \quad 6,723 \times \left(\frac{5,30 + 4,65}{2} \right) = 33,446 \text{ "}$$

$$\text{VII}) \quad 6,723 \times \left(\frac{4,65 + 3,80}{2} \right) = 28,404 \text{ "}$$

$$\text{VIII}) \quad 6,723 \times \left(\frac{3,80 + 2,65}{2} \right) = 20,681 \text{ "}$$

Переносъ эти высоты на чертежъ, получаемъ искомую диаграмму *A* непосредственной нагрузки главной подпружной арки.

Что касается до диаграммы нагрузки, передаваемой посредствомъ паруса отъ верхнихъ частей сооруженія, то ordinаты ея, какъ видно изъ плана, будутъ пропорциональны площадямъ *X*, образуемымъ линией кольца (внутренней) и линией подпружной арки. Слѣдовательно, чтобы найти ordinаты диаграммы отъ нагрузки, переходящей на парусный треугольникъ *abc*, раздѣлимъ эту послѣднюю на части числомъ 10, причемъ каждая часть отвѣчаетъ центральному углу $\frac{360}{10} = 45^\circ$. Такъ какъ элементы парусного угла всегда пропорциональны квадрату радиуса, то можно легко вывести ихъ въ таблицѣ для радиуса единицы.

Таблица эта помѣщена здѣсь, при чмъ x равенъ углу отъ оси; V =объему суммы элементовъ отъ 1-го даннаго; dv =объему отдѣльного элемента; x =площади парусного треугольника, отвѣчающаго данному элементу; s =длина элемента; $\frac{x}{s}$ и $\frac{dv}{s}$ суть коэффициенты, получаемые изъ предыдущихъ величинъ и наиболѣе часто употребляемые вмѣсто этихъ послѣднихъ.

№	Уголъ α	$V = \text{сумма объемовъ засеченныхъ элементовъ}$	$dv = \text{объемъ элемента}$	x площа-ди элем.	s длина элемента.	$\frac{x}{s}$	$\frac{dv}{s}$
I	$40^\circ 30'$	0,000000	0,000000	0,00010	0,07870	0,001270	0,000000
II	9°	0,000001	0,000001	0,00059	0,07968	0,007405	0,0000125
III	$13^\circ 30'$	0,000006	0,000005	0,00160	0,08170	0,019585	0,0000612
IV	18°	0,000034	0,000028	0,00317	0,08484	0,037365	0,0003300
V	$22^\circ 30'$	0,000098	0,000064	0,00539	0,08929	0,006365	0,0007167
VI	27°	0,000265	0,000167	0,00841	0,09532	0,088230	0,0017520
VII	$31^\circ 30'$	0,000630	0,000365	0,01239	0,10327	0,119975	0,0035345
VIII	36°	0,001397	0,000767	0,01762	0,11374	0,155050	0,0067495
IX	$40^\circ 30'$	0,002967	0,001570	0,02452	0,12754	0,192250	0,0123100
X	45°	0,006174	0,003207	0,03371	0,14592	0,231000	0,0219775

Въ нашемъ примѣрѣ радиусъ равенъ 18,30 фута и слѣдовательно, площади таблицы надо умножить на 18,30².

Такъ какъ высота нагрузки 43,70 фута отнесена къ площади 6,5 кв. фута, то высоты діаграммы равны:

$$\frac{x \times 18,30^2 \times 43,70}{6,50 \times S \times 18,30} = 122,92 \frac{x}{S}$$

Величина $\frac{x}{S}$ для какихъ угодно радиусовъ дана въ упомянутой таблицѣ.

На основаніи всего сказанного получимъ слѣдующія высоты діаграммы:

I — 0,0012706 × 122,92 =	0,148	фута.
II — 0,0074045 × 122,92 =	0,960	"
III — 0,019585 × 122,92 =	2,335	"
IV — 0,037365 × 122,92 =	4,548	"
V — 0,060365 × 122,92 =	7,375	"
VI — 0,08823 × 122,92 =	10,817	"
VII — 0,119975 × 122,92 =	14,750	"
VIII — 0,15505 × 122,92 =	19,438	"

Перенося эти высоты на чертежъ, получимъ діаграмму B' , для грузовъ отъ верхнихъ частей сооруженія, передаваемыхъ посредствомъ паруса вмѣстѣ съ непосредственной нагрузкой (B — представляетъ діаграмму грузовъ, передаваемыхъ только парусомъ, т. е. діаграмма B есть діаграмма B' безъ діаграммы A).

Наконецъ діаграмма отъ груза элементовъ паруса будетъ имѣть ординаты, пропорціональныя объему элементовъ. Объемы элементовъ при радиусѣ, равномъ единицѣ, приведены выше; для данного случая при радиусѣ 21,545 нужно ихъ умножить на $21,545^3 = 10000$.

Чтобы получить ординаты имѣемъ:

$$h = \frac{dv \times 10000}{s \times 21,545 \times 6,50} = \frac{dv}{s} \times 71,00.$$

На основаніи всего сказанного получаемъ слѣдующія высоты діаграммы:

I — 0,00000	$\times 71 = 0,00000$
II — 0,00001255	$\times 71 = 0,00089105$
III — 0,0000612	$\times 71 = 0,0043452$
IV — 0,00033	$\times 71 = 0,023430$
V — 0,0007167	$\times 71 = 0,0508857$
VI — 0,001752	$\times 71 = 0,124392$
VII — 0,0035345	$\times 71 = 0,2509495$
VIII — 0,0067495	$\times 71 = 0,4792145$

Перенося эти высоты на чертежъ, получаемъ діаграмму B' для всей нагрузки на подпружную арку, (В есть діаграмма отъ однихъ элементовъ паруса, т. е. діаграмма B , равна діаграммѣ B' безъ діаграммы A и B).

Здѣсь нельзя не обратить вниманія на то, что нагрузка отъ паруса очень незначительна въ сравненіи съ другими грузами, а слѣдовательно, небольшая неточность, допущенная нами при определеніи объемовъ элементовъ паруса, совершенно не чувствительна.

Остается еще сказать о центрѣ тяжести діаграммы. Определеніе его совершенно такое же, какъ и вообще для сложныхъ формъ тѣль и площадей. Слѣдуетъ обратить вниманіе только на то, что смыслъ центра тяжести діаграммы немного иной, чѣмъ для обыкновенныхъ случаевъ. Дѣло въ томъ, что въ діаграммѣ силы или грузы будутъ не въ своихъ плоскостяхъ, а дѣйствуютъ въ плоскости средины арки, параллельно щековой поверхности.

Здѣсь произошли поэтому слѣдующія условныя или символическія сочетанія, и именно: мы предположили грузы, дѣйствующіе на парусный треугольникъ, размѣщенные на средней линіи арки въ планѣ (IK), тогда какъ на самомъ дѣлѣ центръ тяжести ихъ внѣ арки. Да-гдѣ мы предположили, что грузъ распредѣляется на всю

ширина 6,5 футовъ арки равномѣрно, что также не точно, ибо нагрузка къ внутреннему краю арки больше, и только общее среднее давление отвѣчаетъ диаграммѣ. Такимъ образомъ, центръ тяжести площади диаграммы есть символический центръ средняго давленія. Мы обращаемъ на это вниманіе для того, чтобы при опредѣлѣніи коэффиціента устойчивости сооруженій не смѣшивать центръ тяжести диаграммы съ центромъ тяжести отдельныхъ частей сооруженія.

Диаграмма нагрузки конического паруса почти такая же, какъ сферического, почему разсматривать ее не станемъ. Переходя къ диаграммѣ перемычечного паруса возьмемъ слѣдующій примѣръ.

Пусть будетъ дано построить диаграмму нагрузки аркъ отъ барабана восьмигранной формы, лежащаго на перемычечномъ парусѣ (рис. 183).

Всю диаграмму можно раздѣлить на двѣ самостоятельныя: одну отъ непосредственной нагрузки на арку, а другую отъ нагрузки, передаваемой парусомъ. Первая диаграмма до точки *C* будетъ, очевидно, горизонтальной линией, выражющей высоту нагрузки. Начиная съ точки *C*, линія дѣлается наклонной и въ точкѣ *B* совпадаетъ съ линіей *MN*.

Такимъ образомъ линіей 1-ї диаграммы, т. е. непосредственной нагрузки, будетъ линія *ECB*. Вторая диаграмма получится такимъ образомъ: средняя высота (ордината) диаграммы во столько разъ меньше (или больше) высоты *EE'*, во сколько разъ площадь *ABFG* меньше (или больше) площади *AKHB*. На этомъ основа-

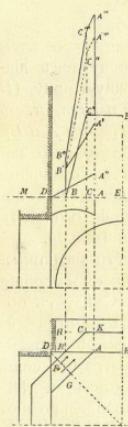


Рис. 183. Диаграмма нагрузки отъ перемычечного паруса.

зій ординаты въ точкѣ *A* и *B* получаются изъ пропорционального треугольника. Предположимъ что эта диаграмма части груза, передаваемаго парусомъ на арку, будетъ линія *AA'*. Что касается третьей диаграммы, а именно: отъ заполненія паруса, то эта диаграмма зависитъ отъ того, будетъ ли заполненіе также перемычечное или оно будетъ сферическое, коническое и т. д.

Положимъ оно будетъ перемычечнымъ, при чёмъ перемычка одна во весь уголокъ покрываемаго пространства. Очевидно, тогда въ точкѣ *D* высота диаграммы равна нулю, такъ какъ размѣры перемычки въ длину равны нулю. Въ точкѣ *A* высоту ординаты получимъ, опредѣливъ объемъ всей перемычки *P* и раздѣливъ на площадь $\frac{AK \times AD}{2}$. Получимъ ординату *AA''D*.

Остается сложить всѣ три диаграммы, чтобы получить окончательную, которая будетъ общей отъ всѣхъ грузовъ, а именно получимъ ломанную *EA'''C''B'D*.

Разсмотримъ теперь диаграмму нагрузки при кронштейновомъ парусѣ. Чтобы выяснить себѣ распределѣніе давленія въ этомъ парусѣ обратимся къ способу кладки его. Какъ было уже сказано, кладка кронштейнаго паруса производится горизонтальными рядами камней, постепенно напускаемыхъ другъ на друга (рис. 184).

Въ виду этого равнодѣйствующая всѣхъ силъ пойдетъ по диагональному сѣченію; но чтобы такое положеніе равнодѣйствующей имѣло мѣсто, необходимо, чтобы составные усилия лежали въ меридиональныхъ плоскостяхъ

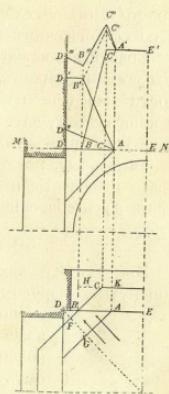


Рис. 184. Диаграмма нагрузки отъ кронштейнаго паруса.

т. е. въ вертикальныхъ плоскостяхъ, параллельныхъ или наклонныхъ къ диагонали.

Не вхоя въ подробное изслѣдованіе этого вопроса т. е. определенія истинного направления усилий въ парусѣ, слѣдствіемъ такого замѣчаніе: если мы имѣемъ сферической или конической парусъ, то усилия действующіе нормально къ линіи паруснаго кольца, и чѣмъ больше радиусъ этого кольца, тѣмъ менѣе угол, образуемый меридиональными плоскостями и, если радиусъ будетъ безконечной длины, то направляющая кольца будетъ прямая линія, а меридиональная плоскость слѣдуетъ параллельными. На этомъ основаніи кронштейнъ парусъ съ прямолинейной направляющей кольца и радиусъ безконечной величины будеть передавать грузы по направлению плоскостей, параллельныхъ диагональной.

Такимъ образомъ построение диаграммы довольно просто и имѣть сходство какъ съ перемычечными, такъ и со сферическимъ парусомъ, что ясно изъ чертежа.

Сравнивая между собою достоинства парусовъ по диаграммамъ, видимъ, что первое мѣсто по равномерности передачи грузовъ принадлежитъ сферическому и коническому; затѣмъ слѣдуетъ парусъ кронштейнъ и на послѣднемъ уже мѣстѣ слѣдуетъ поставить парусъ перемычечный; послѣдній виль парусовъ слѣдовало бы вовсе исключить изъ употребленія въ строительномъ дѣлѣ, какъ совершенно неконструктивный пріемъ.

59. Сводные кольца.

Въ тѣхъ случаяхъ когда своды, напр. купольный, сомкнутый, парусный и т. д. имѣютъ отверстія, для равновѣсія сводовъ должны быть устраиваемы горизонтальные перемычки или кольца (рис. 185), на которыхъ можетъ быть впослѣдствіи сложенъ фонарь или сдѣлана особая нагрузка. Такія горизонтальные кольца или перемычки называются сводными. Кладка сводныхъ ко-



Рис. 185. Сводное кольцо.

лещъ значительно отличается отъ кладки обыкновенныхъ перемычекъ и арокъ не только тѣмъ, что всѣ сопрягаемые (подверженные нормальному давленію) швы вертикальны, но и тѣмъ, что перевязь камней въ нихъ не простая, а сложная. Чтобы ясно различать эти два рода перевязи возьмемъ сводное кольцо, показанное на рис. 186. Какъ видно изъ разрѣза кольца при вертикальныхъ сопрягаемыхъ швахъ простой перевязи камней, послѣдніе могутъ свободно скользить внизъ и потому при сомкнутомъ кольце равновѣсіе будетъ только вслѣдствіе трензі; этого однако недостаточно при нагруженніи кольца и поэтому необходимо перевязь камней сдѣлать такъ, чтобы камни скользить внизъ не могли. Рѣшеніе этой задачи въ прежнее время достигалось тѣмъ, что горизонтальную перемычку дѣлали изъ ряда вертикальныхъ, опирающихся на особые пятовые камни значительныхъ размѣровъ и хорошо вѣланыхъ въ кладку стѣнъ и арокъ; таково, напр., парусное кольцо, показанное на рис. 187. Такое рѣшеніе вопроса нельзя считать вполнѣ удачнымъ въ виду сложности, особенно обтеки пятоыхъ камней (быковъ или шпоръ а), а также

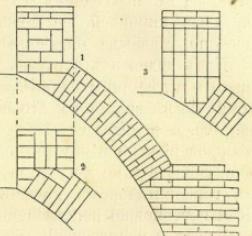


Рис. 186. Простая и сложная кладка сводныхъ колецъ.

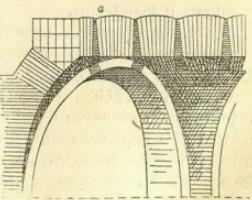


Рис. 187. Кладка парусного кольца на шпорахъ.

въ виду того, что парусное кольцо будетъ подвержено довольно неопределенному усилию, такъ какъ разбогаєтъ на нѣсколько самостоятельныхъ частей съ точками опоры въ быкахъ. Гораздо рациональнѣе и естественнѣе является другое рѣшеніе того же вопроса, а именно: дѣлать кладку кольца изъ монолитовъ или кладку изъ маленькихъ камней сложной перевязью; въ послѣднемъ случаѣ швы одного и того же ряда кирпичей не должны совпадать, разумѣя, конечно, главнымъ образомъ швы вертикальные.

Какъ видно изъ чертежа, достичь этого довольно просто, а дѣйствительность этого средства вѣнчаго сомнѣнія въ виду того, что камни, приходя въ движение, не только должны скользить внизъ по вертикальному направлению, но и внутрь кольца т. е. наклонно; внутрь они скользить не могутъ вслѣдствіе того, что камни въ горизонтальномъ сѣченіи имѣютъ видъ клина, а если невозможно перемѣщеніе горизонтальное, то невозможно и перемѣщеніе наклонное, а слѣдовательно и вертикальное, что и требуется.

При такомъ способѣ кладки усилия въ кольцахъ совершаются тождественны съ усилиями въ аркахъ. Дѣйствительно: вслѣдствіе нагрузки или собственного вѣса, когда нагрузки нѣтъ, камни кольца стремятся скользить по пятымъ внизъ, развивая горизонтальный распоръ, удерживающий кольцо въ равновѣсіи, если пяты и опоры неподвижны.

Толщина сводныхъ колецъ и расчетъ послѣднихъ представляютъ много особенностей сравнительно съ толщиной и расчетомъ арокъ, не смотря на ихъ видимое сходство. Дѣло въ томъ, что грузъ на арку или перемычку передается параллельно щековому сѣченію, а въ свободныхъ кольцахъ, наоборотъ, перпендикулярно этому сѣченію, такъ что распоръ и грузъ дѣйствуютъ не въ одной плоскости, а въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ или наклонныхъ плоскостяхъ, если равнодѣйствующая верхнихъ грузовъ и распоровъ будетъ

имѣть наклонное положеніе. Все это придаетъ въ сводныхъ кольцахъ особое соотношеніе между грузомъ и распоромъ при построеніи кривой давленія, которая будетъ всегда совершенно тождественна по формѣ съ средней линіей кольца въ планѣ. Поэтому, первымъ вопросомъ при расчетѣ кольца будетъ сглагоуций: какой величины напряженіе существуетъ въ каждомъ сопрягаемомъ швѣ, когда известны размѣры кольца, форма его и величина нагрузки на кольцо.

Для рѣшенія этого вопроса возьмемъ частный примѣръ. Пусть будетъ дано рассчитать кольцо, показанное на рис. 188, причемъ даны диаграммы нагрузки и размѣры кольца. Для этого мы разсуждаемъ такъ: на кольцо A дѣлается грузъ P_0 (читая въ томъ числѣ грузъ самого кольца); этотъ грузъ разлагается на двѣ силы: горизонтальную H_0 и наклонную R_0 . Послѣдня сила переходитъ на опору или пяту, а первая есть та, которая получается отъ существующихъ во всѣхъ швахъ (сопрягаемыхъ) усилий дѣйствующихъ на эти швы нормально или, иначе говоря, H_0 есть распоръ, но не тотъ который намъ необходимо найти. Очевидно, если мы знаемъ направление R_0 или, что то же, наклонъ шва пяты, то изъ параллелограмма силъ найдемъ и величину H_0 по тому же масштабу, по какому будетъ отложена сила P_0 , намъ извѣстная. Для данного случая

$$P_0 = \pi \times 9 \times 2 \times 10 \times 3 = 3388 \text{ пудовъ.}$$

Согласно масштабу силъ и параллелограмму $H_0 = 2700$ пудовъ. Чтобы найти величину силы, дѣйствующей нормально сопрягаемымъ швамъ на основаніи сказанного ниже въ § 84, имѣемъ:

$$H = \frac{H_0}{\pi} = \frac{2700}{6,28} = 430 \text{ пуд.}$$

Такъ какъ площадь сопрягаемаго шва равна $2 \times 1,5 = 3$ кв. футамъ, то давленіе на 1 кв. фут. равно:

$$\frac{430}{3} = 143 \text{ пудамъ,}$$

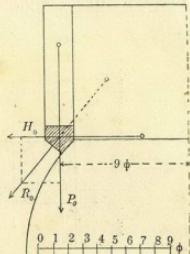


Рис. 188. Определение распора парусного кольца.

или среднее напряжение шва т. е. давление на 1 кв. дюймъ равное:

$$\frac{143}{12^2} = \frac{143}{144} = 1,0 \text{ пуду.}$$

60. Перекрещивающиеся арки.

Когда четыре арки возводятся такъ, что пяты двухъ смежныхъ опираются не въ одну и ту же точку, а въ разныя, то арки встрѣчаются на извѣстномъ разстояніи отъ пятъ и какъ бы перекрещиваются въ четырехъ точкахъ (рис. 189). Очевидно, на среднихъ частяхъ

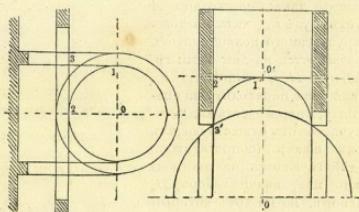


Рис. 189. Происхождение перекрещивающихся арокъ.

аркъ, образующихъ квадратъ, можно возвести стѣны или барабанъ на парусахъ, а угловыя части числомъ 4 и боковыя пространства перекрыть сводами. Такимъ образомъ перекрещивающиеся арки не представляютъ собою особаго вида сводчатыхъ перекрытий, а составляютъ частный случай изложенныхъ выше. Устройство перекрещивающихся арокъ встрѣчаемъ главнымъ образомъ въ церковныхъ постройкахъ русскаго и армянскаго стиля. Рассчетъ перекрещивающихся арокъ, очевидно, будетъ аналогичнымъ расчету обыкновенныхъ; необходимо только съумѣть опредѣлить диаграмму нагрузки этихъ арокъ.

Возьмемъ численный примеръ. Пусть будетъ дано квадратное пространство, перекрытое перекрещивающимися арками, на которыхъ лежитъ круглый барабанъ со сферическими парусами (рис. 190), причемъ кладка барабана приведена въ простой видъ

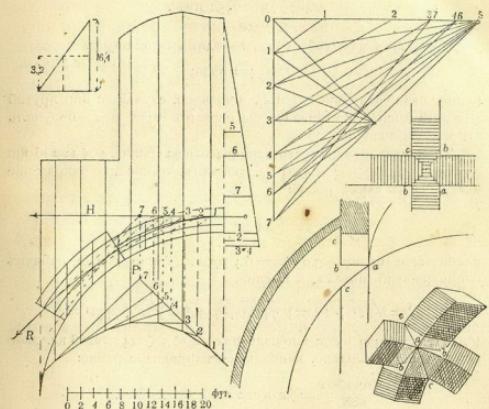


Рис. 190. Расчетъ перекрещивающихся арокъ.

цилиндра со стѣнками толщиною въ ширину арокъ. Въ замкѣ арки, очевидно, ординаты диаграммы равна высотѣ цилиндра; затѣмъ ординаты измѣняются согласно тому, какъ мы это видѣли въ диаграммѣ отъ сферического паруса на обыкновенныхъ аркахъ. Начиная съ точки перекрещивания арокъ, ординаты дѣлаютъ уступъ, такъ какъ никакой нагрузки, кроме груза самой арки, дальше не существуетъ, разумѣя, конечно, что боковыя не забутчены и пространство между арками не заполнено никакой кладкой,— ни горизонтальными рядами, ни сводчатымъ.

By виду всего вышеизложенного построенія, показанного на рис. 190, понятна безъ объяснений. Какъ видно изъ построенной кривой давления, арки вполнѣ устойчивы; что же касается до прочности ихъ, то для определенія ея имѣемъ слѣдующія

данныя, а именно: вся нагрузка на арку (половину) равна объему въ кубич. футахъ умноженному на 3 пуда, т. е.

$$P = 27 \times 23 \times 4 = 2484 \text{ кубич. фута}$$

или

$$2484 \times 3 = 7452 \text{ пуда.}$$

Построивъ масштабъ силь, находимъ величину распора

$$H = 7452 \text{ пуда;}$$

(одинаковая величина H и P , очевидно, случайна; при другойтолщинѣ арки — P оставался бы равнымъ 7452, а H получила бы другую величину).

Такъ какъ поверхность замочного шва равна $4 \times 4 = 16$ кв. футамъ или $16 \times 144 = 2304$ кв. дюймамъ, то среднее напряженіе материала въ замкѣ равно:

$$\frac{7452}{2304} = 3,2 \text{ пуда на 1 кв. дюймъ;}$$

наибольшее будетъ $3,2 \times 2 = 6,4$ пуда. Точно также найдемъ напряженіе въ пятахъ, а именно:

$$R = \sqrt{H^2 + P^2} = \sqrt{7452^2 + 7452^2} = \sqrt{2 \times 7452^2} = \\ \sqrt{2 \cdot 7452} = 10433 \text{ пуда; площадь пяты } 4 \times 5 \times 144 = 2888 \text{ кв. дюймовъ и, следовательно, наибольшее напряженіе равно:}$$

$$\frac{10433 \times 2}{2888} = 7,2 \text{ пуда на 1 кв. дюймъ.}$$

Приведенный примѣръ разсчета перекрещивающихся арокъ наглядно показываетъ всѣ достоинства и недостатки ихъ. Главная цѣль примѣненія ихъ заключается въ томъ, чтобы на большомъ открытомъ помѣщеніи поставить меньшаго пролета фонарь и куполь съ барабаномъ. Нѣть сомнѣнія, что того же самаго можно бы достигнуть возвѣденіемъ барабана на сводахъ: купольномъ, сомкнутомъ или парусномъ.

Къ конструктивнымъ недостаткамъ перекрещивающихся арокъ относится всегда то, что наибольшая нагрузка сосредоточивается въ половинѣ, ближайшей къ замку, отчего распоръ сравнительно великъ и шовъ излома лежитъ высоко отъ пяты. Все это требуетъ сильной нагрузки пять сверху, являющейся излишней тратаю материаломъ и рабочихъ силъ; кроме того, это

требуетъ при кладкѣ арокъ хорошихъ, временныхъ, по крайней мѣрѣ, связей.

Во всякомъ случаѣ рекомендовать употребленіе перекрещивающихся арокъ возможно лишь тогда, когда опорами имъ служать продольныя и поперечныя стѣны, т. е. когда опоры безусловно устойчивы и вызваны не конструкцией самыхъ арокъ, а другими обстоятельствами, оправдывающими расходъ денегъ на ихъ устройство.

Что касается до кладки перекрещивающихся арокъ, то она мало отличается отъ кладки обыкновенныхъ. Наиболѣшаго вниманія заслуживаетъ кладка при перекресткѣ арокъ. Чтобы избѣжать сложной тески, лучше всего въ этомъ мѣстѣ дѣлать монолитный кусокъ съ переходными частями для четырехъ арокъ и паруса. Когда же этого сдѣлать за отсутствіемъ необходимаго материала невозможно, то нужно стараться класть кирпичи или плиту на цементномъ растворѣ и при томъ въ елку. Въ церкви Киевскаго подворья на Васильевскомъ островѣ въ Петербургѣ перекрещивающіяся арки сдѣланы изъ бетона*).

*) В. А. Косяковъ: „Постройка храма подворья Кіево-Печерской лавры“—1900 г.

отделъ III.
Своды.

I. Коробчатые своды.

61. О коробчатыхъ сводахъ вообще.

Коробчатый сводъ представляетъ собою по кладкѣ и формѣ обыкновенную арку, перекрывающую не премъ въ стѣнѣ или между столбами, а цѣлое пространство, ограниченное вертикальными стѣнами (рис. 191).

Поэтому все сказанное относительно кладки и формъ направляющихъ кривыхъ арокъ относится къ коробчатымъ сводамъ.

Мы видѣли выше, что чѣмъ крѣпче связывается растворъ съ камнемъ или кирпичемъ, тѣмъ меньше бываетъ горизонтальный распоръ; поэтому желательно, чтобы по наступлениію полного отвердѣнія раствора форма свода по возможности меньше измѣнялась. Приготовленіе раствора для сводовъ должно быть очень тщательное.

Чѣмъ меньше число швовъ, чѣмъ тоньше они и чѣмъ равномѣрнѣе, тѣмъ меньше будетъ осадка свода при раскруживаніи и тѣмъ менѣе причинъ появленія трещинъ или нарушений равновѣсія.

Коробчатые своды встрѣчались уже въ древней Халдѣи и были извѣстны также египтянамъ; римляне

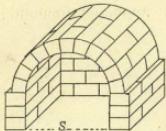


Рис. 191. Перспективный видъ коробчатаго свода.

возводили ихъ въ грандіозныхъ размѣрахъ; въ настоящее время они стали менѣе употребительными вслѣдствіе замѣны другими сводами, которыми они уступаютъ какъ по своей красотѣ, такъ и рациональности. Тѣмъ не менѣе коробчатые своды въ связи съ крестовыми и купольными часто встрѣчаются въ боковыхъ помѣщеніяхъ церквей, въ коридорахъ, погребахъ и т. д.

Коробчатый сводъ, въ большинствѣ случаевъ, представляеть собою цилиндрическую поверхность съ вертикальной осью симметрии. Но очень часто встрѣчаешься и полуэллиптическую или вообще коробовую форму направляющей кривой свода.

При лѣстничныхъ кѣткахъ встрѣчаются коробчатые своды, у которыхъ образующая прямая не горизонтальна, а наклонна; при винтовыхъ лѣстницахъ образующая линія винтовая, а при мостовыхъ часто косая; — ось послѣднихъ сводовъ и образующая линія обыкновенно горизонтальны, но швы кладки не перпендикулярны къ щековой поверхности свода.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда своды довольно большого пролета и при томъ пересѣчены подпружными или укрѣпляющими арками, коробчатымъ сводамъ придаются такую форму, что швы по ширинѣ свода (т. е. нормально къ щековой поверхности) будуть ограничены сверху и снизу не пряммыми линіями, а кривыми выпуклыми вверхъ. Этимъ достигается уменьшеніе распора на боковыя стѣны между гуртами, такъ какъ часть свода будетъ дѣйствовать на укрѣпляющая арки и благодаря противоположнымъ давленіямъ распоръ уничтожается. Подъемъ (высота) отѣблѣнныхъ сводиковъ поперекъ равенъ обыкновенно $\frac{1}{20}$ пролета до $\frac{3}{20}$. Понятно, что при малыхъ величинахъ этой выпуклости и при оштукатуркѣ растворомъ съ примѣсью большого количества альбастра можно почти выравнить впадины, и сводъ будетъ казаться однѣмъ общимъ, имѣющимъ прямую шельгу.

62. Толщина коробчатыхъ сводовъ.

Эмпирическія формулы для определенія толщины свода въ замкѣ и пятахъ остаются тѣ же, что и для арокъ, такъ какъ арка представляется собою по кладкѣ тѣ же коробчатый сводъ, только небольшой ширины.

Рондлѣ даетъ кромѣ того слѣдующія величины для толщины замка (c), пяты (d) и опоры (w):

1) для сводовъ съ горизонтальной забуткой до шелыги:

$$c = \frac{l}{48}; \quad d = c; \quad w = \frac{l}{11};$$

2) для сводовъ забученныхъ до половины:

$$c = \frac{l}{36}; \quad d = c; \quad w = \frac{l}{9};$$

3) для такихъ же сводовъ съ разной толщиной замка и пяты:

$$c = \frac{l}{48}; \quad d = \frac{l}{32}; \quad w = \frac{l}{10}.$$

Во всѣхъ приведенныхъ случаяхъ предполагается, что опора не выше діаметра свода и что своды не подвержены никакимъ сотрясеніямъ. Въ противномъ случаѣ необходимо руководствоваться слѣдующей таблицей.

ТАБЛИЦА
ТОЛЩИНЫ СВОДОВЪ ВЪ ЗАМКѢ.

Пролѣтъ въ аршинахъ.	А.		Б.	
	Толщина въ кирпичахъ.		Толщина въ кирпичахъ.	
5	1		1½	
10	1½		1	
15	2			
20	2½		1½	
25	3		2	
30	3½		2½	
35	4		3	
50	4½		3½	
70	6		4½	
90	7		6	

Толщина, показанная въ графѣ А, относится къ замку полуокруглыхъ сводовъ, ненагруженныхъ, забученныхыхъ до точки излома и подвергненныхъ постоянному сотрясенію; толщина же въ графѣ Б относится къ замку полуокруглыхъ сводовъ обыкновенныхъ жилыхъ помѣщеній, забученныхыхъ до точки излома и нагруженныхъ поломъ и людьми. Къ первымъ относятся своды фабричныхъ зданій или мастерскихъ, а также своды въ общественныхъ зданіяхъ: въ церквяхъ, залахъ и т. д., подвергненныхъ сотрясенію отъ передвиженія толпы. Пяты въ тѣхъ и другихъ случаяхъ предполагаются вдвое толще. Согласно даннымъ Рондлѣ можно принять для нагруженныхъ сводовъ толщину въ замкѣ $\frac{1}{48}$ пролѣта, увеличивая къ пятымъ въ $1\frac{1}{2}$ раза; у насъ слѣдуютъ этому правилу, говоря, что на 1 сажень пролѣта необходимо замку давать толщину 1 вершокъ и $1\frac{1}{2}$ пятымъ; наименьшая толщина замка $1\frac{1}{2}$ кирпича.

Кромѣ эмпирическихъ формулъ Рондлѣ существуетъ множество другихъ. Въ результатѣ эти формулы мало отличаются другъ отъ друга. Таковы формулы Перроне, Мишона и проч.

Такъ какъ въ большинствѣ случаевъ устойчивость сводовъ гораздо значительнѣе устойчивости опоръ, то обыкновенно недостаточно знать толщину и прочность свода; необходимо еще найти распоръ свода и провѣрить устойчивость опоры. Для определенія распора, какъ и при аркахъ, наиболѣе рационально производить расчетъ аналитически или графически, по таблицамъ же и эмпирическимъ формуламъ назначаютъ толщину только при проектированіи, приблизительно.

Чтобы видѣть, какая большая разница въ толщинѣ коробчатыхъ сводовъ существуетъ въ натурѣ, приводимъ слѣдующіе примѣры: коробчатый сводъ въ придельѣ собора Петра въ Римѣ при пролѣтѣ въ 80 футовъ имѣетъ толщину въ замкѣ $\frac{1}{24}$ пролѣта; надъ портикомъ парижскаго Пантеона при пролѣтѣ 58 футовъ

толщина замка 8 дюймовъ т. е. $\frac{1}{87}$ пролета, а пяты вдвое толще; стрѣльчатые своды при пролетѣ 45 футовъ ча-сто имѣютъ въ замкѣ толщину въ $\frac{1}{96}$ пролета.

У насъ сводамъ, постоянной нагрузкой которыхъ служить полъ и временной—люди, какъ напр., въ жи-лыхъ зданіяхъ, при пролетѣ менѣе 2-хъ саженей даютъ толщину въ замкѣ $\frac{1}{2}$ кирпича. При большихъ проле-тахъ дѣлаютъ укрѣпляющія арки или гурты на раз-стояніи до 1 сажени, шириной и толщиной въ 1 кир-пичъ, такъ что они возвышаются на $\frac{1}{2}$ кирпича про-тивъ свода (рис. 192).

Для равномѣрной передачи давленія на каждый эле-ментъ свода, лаги кладутся параллельно оси свода (пер-пендикулярно къ щековой поверхности).

Своды до 3-хъ саженей въ пролетѣ дѣлаются тол-шиной въ 1 кирпичъ, а гурты въ $1\frac{1}{2}$ кирпича, какъ въ ширину, такъ и въ толщину (рис. 193). Толщина сводовъ съ пролетомъ бо-льше 3-хъ саженей и на-гружкой весьма значитель-

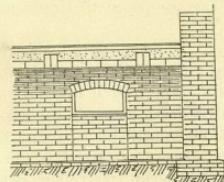


Рис. 192. Продольный разрез коробчатого свода с гуртами.

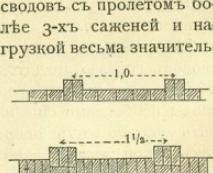


Рис. 193. Размѣщеніе гуртовъ и размѣры ихъ.

ной провѣряется графически, и могущую при этомъ встрѣтиться необходимости въ увеличеніи толщины къ пятамъ легко выполнить, какъ показано на чертежѣ (рис. 194).

Если укрѣпляющіе гурты или ребра будутъ высту-пать книзу и, кромѣ того, будутъ слѣданы такія же

ребра параллельно оси, то получимъ сводъ съ кессо-нами, который встрѣчается уже у римлянъ, но только какъ

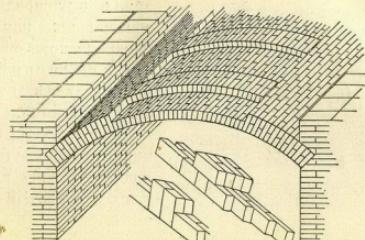


Рис. 194. Перспективный видъ коробчатаго свода съ гуртами.

литой. Кессоны образуются при кладкѣ выпусками от-дѣльныхъ камней (рис. 195); впослѣдствіи ихъ штука-турятъ, дѣлаютъ профили изъ алебастра и, наконецъ,

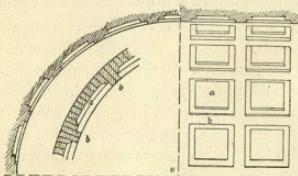


Рис. 195. Кессоны въ коробчатомъ сводѣ.

украшаютъ розетками. Для кладки кессоновъ необхо-дима чрезвычайно аккуратная опалубка кружалъ, на ко-торая кладутся ящики изъ досокъ, представляющіе собою углубленія кессоновъ. При такой кладкѣ, оче-видно, что только углубленная наружная (верхняя) поверхность свода подвержена давленію въ швахъ. Нижніе же выступы (рис. 196) дѣйствуютъ лишь, какъ

грузъ (исключая, конечно, гуртъ), параллельныхъ къ щекѣ). Если желательно, чтобы всѣ выступы участвовали

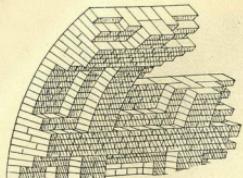


Рис. 196. Перспективный вид коробчатого свода съ кессонами.

въ давлении, то необходимо ихъ распределить диагонально, при цилиндрическомъ общемъ сводѣ, ребра въ послѣднемъ случаѣ будутъ эллиптическими.

Такой сводъ, напоминающий собою сѣтку, удачно названъ сѣтчатымъ коробчатымъ сводомъ.

При слабыхъ опорныхъ стѣнахъ приходится употреблять, какъ и въ аркахъ, связи для уничтоженія распора. Для этого весьма удобно укрѣпляющіе гурты распределить такъ, чтобы они передавали давленіе на одну точку, где и задѣлываются связи.

63. Проектированіе коробчатыхъ сводовъ.

Поперечный разрѣзъ коробчатаго свода даетъ тѣ же самыѣ линии, какъ и щековая поверхность свода; продольный же разрѣзъ будетъ представлять прямыя горизонтальные линии (рис. 197). Но такія простыя формы относятся только къ прямоугольнымъ планамъ. Когда планъ перекрывающего пространства будетъ круглымъ, то сѣченіе (разрѣзъ) свода по оси вращенія направляющей будетъ имѣть горизонтальную шельгу, но нижняя линия будетъ имѣть видъ полуокруга или части круга (рис. 198). Поперечный же разрѣзъ будетъ имѣть тотъ же видъ, какъ

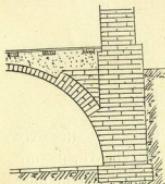


Рис. 197. Поперечный разрѣзъ коробчатаго свода въ подзiale при прямоугольномъ планѣ.

Сводъ на кругломъ планѣ встрѣчается нерѣдко, особенно въ церковныхъ постройкахъ западныхъ губерній. Дѣйствительно, если алтарная часть церкви будетъ въ видѣ полукруглого наоса, то ее можно перекрыть полукупольнымъ сводомъ, но тогда запрестольный образъ будетъ имѣть голову святого на вогнутой поверхности, что не всегда производитъ пріятное впечатлѣніе на молящихся, поэтому, чтобы этотъ образъ весь былъ на вертикальной поверхности, полукруглый наосъ перекрывается коробчатымъ сводомъ.

Когда въ коробчатомъ сводѣ, особенно у пять, оставляется отверстіе для помѣщенія верхней части окна, причемъ это отверстіе приходится перекрывать

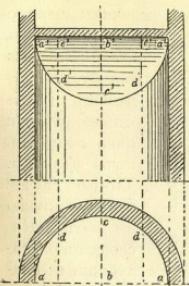


Рис. 198. Коробчатый сводъ на кругломъ планѣ.

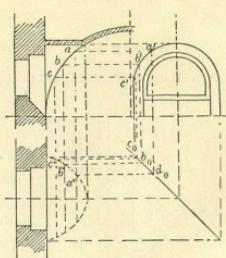


Рис. 199. Цилиндрическая полукруглая расплалубка въ коробчатомъ сводѣ.

поперечнымъ сводикомъ, то этотъ послѣдний называется расплалубкой (рис. 199). Чтобы получить проекціи расплалубки, т. е. планъ, фасадъ и разрѣзъ, необходимо имѣть два изъ нихъ, чтобы третій былъ опредѣленнымъ. Обыкновенно задается фасадъ и разрѣзъ окна, а планъ и линіи пересѣченій расплалубки со сводомъ отыскиваются построеніями.

Возьмемъ примѣръ, показанный на рисункѣ 200. Для получения линій пересѣченія распалубки со сводомъ въ планѣ надо прежде всего по чертежу перенести на поперечный разрѣзъ свода нѣсколько точекъ съ фасада окна. Тогда величину разстояній отъ стѣнъ на разрѣзъ получимъ непосредственно; эти величины переносимъ на планъ, причемъ искомыя точки будутъ лежать на вертикальныхъ пунктирныхъ

Рис. 200. Пологая распалубка въ коробчатомъ сводѣ.

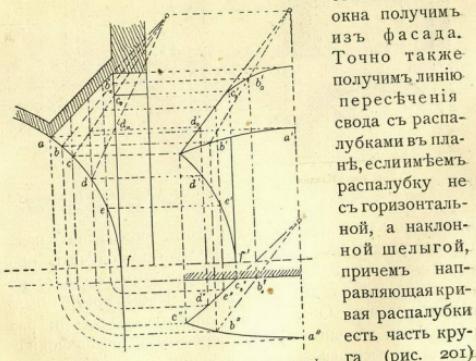


Рис. 201. Коническая распалубка въ коробчатомъ сводѣ.

и даны фасадъ распалубки и поперечный разрѣзъ.

Что касается вопроса, гдѣ и какую распалубку дѣлать въ данномъ сводѣ, то это прямо зависитъ отъ композиціи архитектора.

64. Кладка коробчатыхъ сводовъ изъ кирпича.

При кладкѣ коробчатыхъ сводовъ съ распалубками одновременно кладется лишь самъ сводъ съ гуртами и съ перемычками для распалубокъ, если онѣ есть; самыя же распалубки кладутся послѣ осадки свода и при томъ двоюко: или со швами, перпендикулярными къ швамъ свода, или въ елку. Иногда вовсе не дѣлаются опорной перемычки, а прямо связываютъ распалубку со сводомъ въ кладкѣ, какъ показано на рисункѣ 202. По-

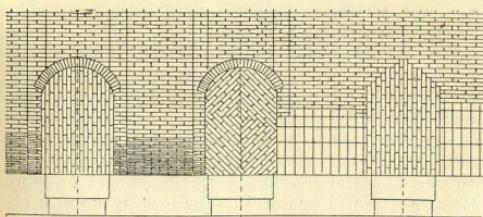


Рис. 202. Кладка коробчатаго свода съ распалубками.

следній способъ распалубокъ удобенъ тѣмъ, что не требуетъ ни лишней тески, ни устройства особыхъ перемычекъ. Собственно перемычка при распалубкѣ не столько является нужной для послѣдней, сколько для самого свода, чтобы образовать въ сводѣ отверстіе (рис. 203).

Очевидно, распалубка будетъ лежать въ этомъ случаѣ прямо на сводѣ, не участвуя вовсе въ передачѣ

давленія, развивающагося въ послѣднемъ; въ этомъ то и заключается существенное отличіе этихъ распалу-

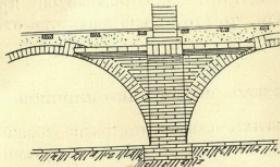


Рис. 213. Разрѣзъ коробчатыхъ сводовъ съ распалубками.

вающие распалубку, а въ послѣднемъ давлениѣ свода соединяется съ давлениемъ распалубки въ одну равнодѣйствующую, проходящую по линіи пересчѣнія распалубки со сводомъ. Если, коснуться вопроса, который изъ двухъ видовъ распалубокъ будетъ конструктивнѣе или рациональнѣе, то необходимо всегда отдавать предпочтеніе распалубкамъ съ перемычками, исключая, конечно, случаи, когда распалубка будетъ имѣть со сводомъ одинаковый пролетъ и выносъ или, иначе говоря, когда одинаковый сводъ съ распалубками превращается въ крестовый, какъ увидимъ ниже. Причина приведенного предпочтенія заключается въ томъ, что перемычка, передавая давлениѣ въ боку отверстия, вмѣстѣ съ тѣмъ всегда даетъ линію давлениѣ, легко опредѣлимую и не выходящую изъ предѣловъ свода; при распалубкахъ же безъ перемычекъ, при тѣхъ же условіяхъ можетъ оказаться, что окончательная кривая давлениѣ въ счѣніи распалубки со сводомъ выйдетъ изъ предѣловъ этого счѣнія, что показываетъ меньшую рациональность такихъ распалубокъ.

Форма и величина распалубок вполѣ зависятъ отъ ихъ назначения и формы самого свода. Такъ, напр., на рисункѣ 204 показанъ коробчатый сводъ въ подвалѣ; сводъ имѣть распалубку сильно наклоненную

единств; въ этомъ то-
чиче этихъ распала-
бокъ отъ тѣхъ, кото-
рыя сложены безъ
перемычекъ въ пере-
вязь со сводомъ. Въ
первомъ случаѣ дав-
леніе части свода,
приходящееся про-
тивъ распалибки, пе-
редается посред-
ствомъ перемычекъ
въ бока, поддержи-
вающими сводъ.

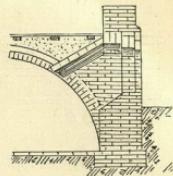


Рис. 204. Разрѣзъ коробчатаго свода съ распалубкой въ подвалѣ.

Кладка коробчатыхъ сводовъ, какъ и всѣхъ сводовъ вообще въ архитектурѣ, производится лишь тогда, когда зданіе вчернѣ готово и вполнѣ покрыто кровлей. Гурты же обыкновенно возводятся одновременно съ кладкой стѣнъ, для чего, однако, полезно дать стѣнѣ нѣсколько окрѣпнуть или не производить очень быстро кладку стѣнъ вверхъ. Когда явится необходимость возводить сводъ до покрытия зданія кровлей, то слѣдуетъ по окончаніи кладки тщательно закрывать сводъ асфальтовымъ толемъ, не производить кладки во время ложня и оставлять въ нискихъ мѣстахъ свода отверстія на случай, если бы вода могла попасть на сводъ.

Кладка сводовъ производится по опалубкѣ, причемъ кружала ставятся на разстояніи $1\frac{1}{3}$ —3 аршинъ перпендикулярно оси свода, а для опалубки употребляются неширокія доски (батанцы) толщиною въ 1 или $1\frac{1}{2}$ дюйма (25).

При установкѣ кружальныхъ реберъ начинаютъ обыкновенно ставить ихъ съ концовъ, т. е. отъ щековыхъ плоскостей; установивъ два крайнихъ ребра,

протягивают причалку въ нѣсколькихъ точкахъ и по нимъ устанавливаютъ остальные ребра. При наклонныхъ (ползучихъ) сводахъ кружала всегда ставятся вертикально, а слѣдовательно, если такой сводъ будетъ имѣть направляющей полукругъ, то кружала будутъ имѣть форму эллиптическую.

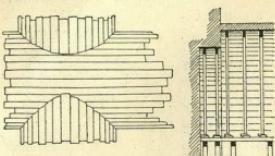


Рис. 205. Кружала коробчатаго свода.

Совѣтно сводчатую кладку, т. е. кладку со швами, направленными къ центру, начинаютъ лишь съ угла 25° и 30° къ горизонту; до этого угла, какъ и при аркахъ, кладку ведутъ горизонтальными рядами, дѣляя выпускныя пяты; эти послѣднія должны быть приготовлены одновременно съ кладкой стѣнъ или, по крайней мѣрѣ, для этого должно быть оставлено мѣсто такъ, чтобы кладку было удобно произвести вмѣстѣ со сводомъ.

По раскружаливаний и окончаніи осадки свода, послѣдній заливаютъ тонкимъ слоемъ жидкаго раствора (цементнаго или известковаго), дабы заполнить образовавшіяся трещины и придать своду болѣе гладкую поверхность сверху.

Раскружаливаніе должно производиться осторожнѣ и не сразу, а постепенно отъ точекъ, наиболѣе удаленныхъ отъ выходныхъ дверей, дабы видѣть, возможно ли оно вообще или приходится еще ждать, пока не окрѣпнетъ растворъ.

Устройство кружальныхъ реберъ, ихъ опусканіе и установка мало отличаются отъ таковыхъ для арокъ. Отверстія въ коробчатыхъ сводахъ, какой бы формы они ни были, должны быть для равновѣсія камней обѣданы перемычками, прямыми и обратными (рис. 206).

Хотя коробчатые своды въ общемъ некрасивы, тѣмъ

не менѣе при умѣлой и удачной композиціи получается весьма изящный видъ, въ чмъ легко убѣдиться по своду въ одной изъ церквей, показанному въ перспективѣ (рис. 207).

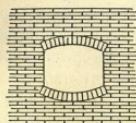


Рис. 206. Устройство отверстія въ коробчатомъ сводѣ.

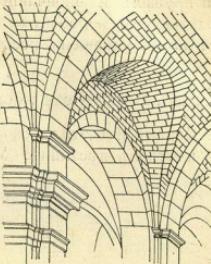


Рис. 207. Перспективный видъ обработки коробчатаго свода.

65. Кладка коробчатыхъ сводовъ изъ естественаго и тесаннаго камня.

Все сказанное о кладкѣ кирпичныхъ сводовъ болѣе или менѣе относится и къ кладкѣ сводовъ изъ естественнаго камня. Камни надо обрабатывать постелисто и такъ, чтобы всѣ камни были одинаковой толщины и длины; направление швовъ должно идти къ центру кривизны свода или нормально къ опалубкѣ. Толщину замка въ погребахъ обыкновенно дѣлаютъ отъ 6 до 10 вершковъ. Употребленіе при этомъ гидравлическаго или цементнаго раствора очень полезно.

Коробчатые своды изъ тесаннаго камня встрѣчаются очень рѣдко и исключительно при мостахъ. Здѣсь самое важное соблюдать правильную теску камней и правильное распределеніе швовъ. Лучше всего такие своды дѣлать цилиндрическими, избѣгая другихъ формъ, такъ какъ иначе встрѣчаются такія неудобства, которыхъ влекутъ за собою сильное вздорожаніе всей постройки. Кружала для такихъ сводовъ всегда почти дѣлаются

на винтахъ. Заливка растворомъ производится по отнятіи кружаль и окончаніи осадки. Встрѣчающіеся въ архитектурѣ коробчатые своды изъ тесанного камня всѣ почти укращены кессонами.

66. Ползучіе и косые коробчатые своды.

Первые изъ этихъ сводовъ (рис. 208) встрѣчаются въ клѣткахъ лѣстницъ. Устройство ихъ не представляетъ никакихъ трудностей, исключая пять. Въ средніе вѣка часто не только пяты, но и своды такие дѣлались уступами (рис. 209) изъ тесанного камня, подымая послѣдовательно пяты вышележащихъ камней.

Рис. 208. Ползучій коробчатый сводъ.

Кладка косыхъ коробчатыхъ сводовъ, которые въ обычновенныхъ сооруженіяхъ почти не встрѣчаются, а при мостахъ—довольно часто, представляетъ затрудненіе

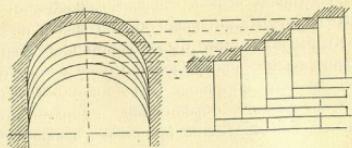


Рис. 209. Ползучій коробчатый сводъ уступами.

при кладкѣ изъ тесанного камня. Если оставлять пяты параллельными оси и стесывать камни наклонно, то для послѣднихъ рядовъ не окажется опоры. Если же дѣлать швы перпендикулярными къ щековой поверхности, то получится ломанная линія, что очень не-красиво для свода, хотя при этомъ избѣгается вышеозначенный недостатокъ (рис. 210). Часто косые своды

возводятся смѣшанной кладкой, а именно: пяты и шелыги кладутъ изъ тесанного камня, а остальное изъ кирпича. При длинныхъ косыхъ коробчатыхъ сводахъ рационально большую часть ихъ складывать со швами, параллельными опорамъ, и только концы складывать косо или по кривымъ. Понятно, что и здѣсь особенно при кривыхъ пятахъ, полезно употребленіе частью тесанного камня.

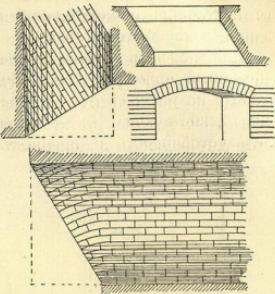


Рис. 210. Косые коробчатые своды.

67. Разсчетъ коробчатыхъ сводовъ.

Такъ какъ коробчатые своды представляютъ собою общий случай арокъ, то графический и аналитический разсчетъ этихъ сводовъ совершенно аналогиченъ разсчету послѣднихъ. Нѣкоторыя особенности представляютъ своды съ распалубками. Мы здѣсь разсмотримъ тотъ случай, когда распалубка опирается на перемычку. Очевидно, мы можемъ раздѣлить весь разсчетъ свода, а именно: на разсчетъ части свода, упирающейся въ стѣны непосредственно, и на разсчетъ части свода, передающую давленіе на перемычку, и разсчетъ перемычки, воспринимающей давленіе отъ этой части свода. Что касается первого разсчета, то онъ будетъ заключаться въ определеніи распора и въ построеніи кривой давленія; второй разсчетъ будетъ заключаться въ определеніи распора части свода, передающаго давленіе на перемычку; въ определеніи кривой давленія этой части;

равнодѣйствующихъ всѣхъ силъ, переходящихъ на перемычку; въ опредѣлении распора и устойчивости перемычки; въ построении кривой давления въ перемычкѣ; въ построении окончательной линіи давленія во всемъ данномъ коробчатомъ сводѣ.

Для поясненія всего вышеизложенного возьмемъ численный примѣръ. Пусть будетъ данъ сводъ, показанный на рисункѣ 211, и требуется опредѣлить всѣ силы, дѣйствующіе въ этомъ сводѣ, а также опредѣлить устойчивость и прочность этого свода въ связи

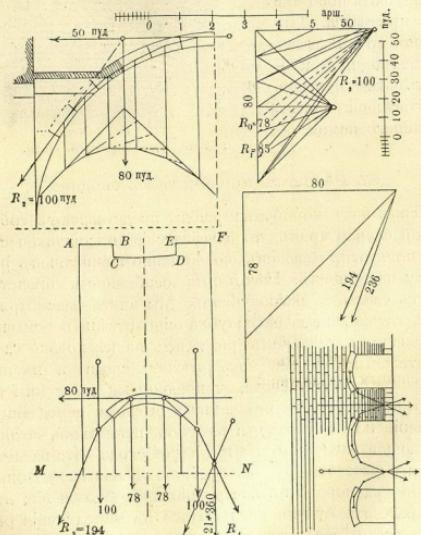


Рис. 211. Рассчетъ коробчатыхъ сводовъ съ распалубками.

съ опорами до линіи MN основанія опоры. Для этой цѣли дѣлимъ сводъ на элементарныя арочки вертикальными плоскостями, параллельными щековой поверхности, и опредѣляемъ силы, дѣйствующіе въ одной изъ арокъ. Для послѣдней цѣли дѣлимъ арку въ свою очередь на элементарныя клины и опредѣляемъ наибольшій изъ минимальныхъ распоровъ. Какъ видно изъ чертежа, наибольшій распоръ отвѣтствуетъ 5-му клину и равенъ 50 пудамъ, а равнодѣйствующая $R_2 = 100$ пудамъ. Но на перемычку переходитъ не равнодѣйствующая R_2 , а равнодѣйствующая R_3 , равная 78 пудамъ въ замѣсть перемычки и R_1 , равная 80 пудамъ въ пятахъ послѣдней. Такимъ образомъ ліаграмму давленія на перемычку представить собою линія $ABCDEF$. Имѣя эту диаграмму, легко построить кривую давленія въ перемычкѣ и найти распоръ послѣдней; какъ видно, этотъ распоръ равенъ 80 пудамъ. Такимъ образомъ мы имѣемъ всѣ данныя, чтобы судить не только объ устойчивости и прочности свода, но и объ устойчивости и прочности перемычки. Остается только къ окончательной равнодѣйствующей R_3 прибавить въсѣ распалубки и соединить двѣ наклонныя равнодѣйствующія въ одну общую R_i , перпендикулярную къ плоскости опорной стѣны.

Что касается разсчета коробчатаго свода въ томъ случаѣ, когда распалубка сложена безъ перемычки, то обѣ этомъ будетъ сказано ниже, при разсчетѣ крестовыхъ сводовъ. Иногда сама распалубка служитъ перемычкой для свода; въ такомъ случаѣ разсчетъ будетъ аналогичнымъ изложеному выше.

II. Прусскіе своды.

68. Проектированіе прусскихъ сводовъ.

Коробчатые своды, употребляемые обыкновенно при мостахъ, въ погребахъ и коридорахъ, неудобны для перекрытия жилыхъ помѣщений. Поэтому примѣняютъ

вмѣсто нихъ прусскіе своды, имѣющіе съ первыми много общаго.

Надо замѣтить, что по своей пологости (малому выносу) прусскіе своды не могутъ имѣть толщину въ $\frac{1}{2}$ кирпича, если пролѣтъ болѣе 1 сажени.

Приступая къ проектированію и къ кладкѣ прусскихъ сводовъ (рис. 212), необходимо прежде всего

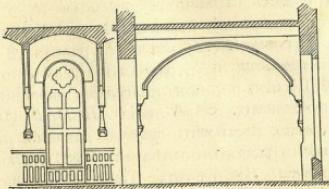


Рис. 212. Общий видъ прусскихъ сводовъ.

разбить длинныя помѣщенія гуртами на части, обыкновенно отъ 1—2 саженей между центрами, причемъ гурты будутъ шириной отъ $1\frac{1}{2}$ —2 кирпичей и такой же толщины. Если опорныя стѣны недостаточно толсты, то приходится утолщать ихъ въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ или прокладывать связи, размѣры которыхъ должны быть при большихъ пролетахъ тщательно вычислены. При подвальныхъ помѣщеніяхъ дѣлать утолщениія противъ гуртовъ весьма удобно, причемъ гурты размѣщаются между окнами.

Разница между прусскими сводами и коробчатыми слѣдующая: въ коробчатыхъ сводахъ ст. гуртами направляющая гуртова параллельная направляющей свода, въ прусскихъ же она перпендикулярна; затѣмъ, въ коробчатыхъ сводахъ главное давленіе переходитъ на стѣны, стоящія перпендикулярно къ щековому сѣченію свода; въ прусскихъ же сводахъ (рис. 213) давле-

ніе главнымъ образомъ передается на стѣны, параллельные щековому сѣченію свода.

При прусскихъ сводахъ важно, чтобы всѣ гурты лежали на одной высотѣ; тогда распоръ отдельныхъ заполнений (лотковъ) взаимно уничтожится. Поля, лежащіе на сводахъ, должны имѣть точки опоры не на сводикахъ, а на гуртахъ.

Что касается до прусскихъ сводовъ изъ естественного и тесаного камня, то они почти не встрѣчаются въ практикѣ, а если бы пришлося ихъ дѣлать, то для этого можно бы руководствоваться сказаннымъ о коробчатыхъ сводахъ изъ того же материала.

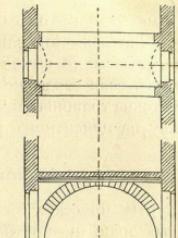


Рис. 213. Планъ и разрѣзъ прусскаго свода.

69. Толщина свода и опоръ.

Наименьшая толщина и ширина гурта будетъ $1\frac{1}{2}$ кирпича. Такъ какъ въ большинствѣ случаевъ форма направляющей свода есть дуга круга и выносъ бываетъ отъ $1\frac{1}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ пролета, то толщину гуртовъ принимаютъ:

при пролѣтѣ гурта 1 — $1\frac{1}{2}$ саж. отъ $1\frac{1}{2}$ —2 кирпич.

" " " $1\frac{1}{2}$ —3 " " 2 — $2\frac{1}{2}$ "

" " " 3 — 4 " " $2\frac{1}{2}$ —3 "

Если направляющая кривая гурта будетъ полукругъ т. е. выносъ въ $1\frac{1}{2}$ пролета, то, очевидно, гурты могутъ быть тоньше и именно на $\frac{1}{2}$ кирпича, но во всякомъ случаѣ не менѣе $1\frac{1}{2}$ кирпича. Опоры, считая высоту не болѣе пролета, бываютъ толщиной отъ $\frac{1}{2}$ до $1\frac{1}{2}$ пролета, смотря по величинѣ нагрузки.

Сводчатыя части между гуртами имѣютъ толщину при разстояній между гуртами:

въ 1 саж. $\frac{1}{2}$ кирпича.

въ $1\frac{1}{2}$, 1 "

Выносъ при этомъ бываетъ отъ $1\frac{1}{7}$ — $1\frac{1}{12}$ разстоянія между пятами;—но если гурты будуть металлическіе, напр. рельсы, то выносъ долженъ быть не менѣе $\frac{1}{8}$, причемъ если своды не будутъ вовсе нагружены, то достаточна толщина въ $\frac{1}{4}$ кирпича, предполагая, конечно, кладку на цементномъ растворѣ.

70. Кладка прусскихъ сводовъ.

Гурты прусскихъ сводовъ кладутся какъ обыкновенная арки; нужно только во время кладки оставлять мѣста для пять сводиковъ, причемъ эти мѣста должны быть на высотѣ не менѣе двухъ вершковъ отъ нижней линіи гурта (рис. 214). Дѣлать пяты послѣ кладки гурта, вырубая мѣста для нихъ въ видѣ особыхъ бороздъ, очень нерационально.

Кладка сводиковъ бываетъ различная; наиболѣе употребительны: кладка со швами, параллельными къ гуртамъ и кладка въ елку. При послѣднемъ способѣ всѣ четыре опоры должны имѣть мѣста для пять.

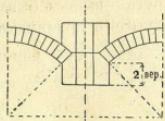


Рис. 214. Деталь гурта прусского свода.

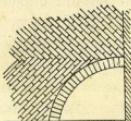


Рис. 215. Кладка прусскихъ сводовъ въ елку и отверстіе въ склонѣ.

Кладка въ елку (рис. 215) имѣеть слѣдующія преимущества:

- 1) осевые швы излома коротки;
- 2) своды садятся меньше, ибо меньше сопрягаемыхъ швовъ;

3) давленіе передается и на стѣны, параллельныя къ склонамъ съченіемъ свода;

4) при опытныхъ каменѣщикахъ не потребуется сложныхъ кружалъ.

Недостатокъ кладки въ елку заключается въ томъ, что изгибъ въ длину кирпича достигается правильно съ большими трудомъ.

Есть еще третій способъ кладки; онъ заключается въ томъ, что сопрягаемыми швами служить не постели кирпича, а заусенки короткихъ сторонъ, какъ видно на рисункѣ 216.

Способъ этотъ называется ассирийскимъ, такъ какъ встрѣчается въ древнихъ памятникахъ Ассирии.

Наконецъ, можно кладть въ елку такъ, чтобы диагональные швы были перпендикулярны къ осмѣи свода.

Простѣйший видъ прусскихъ сводовъ представляютъ собою своды съ горизонтальными гуртами, что будеть имѣть мѣсто при употреблении рельсы и желѣзныхъ балокъ. Обыкновенные желѣзодорожные рельсы, при толщинѣ свода въ $\frac{1}{4}$ кирпича, могутъ имѣть наибольшую длину (рис. 217) 2 сажени и находиться на разстояніи не болѣе 2-хъ аршинъ. При большихъ пролетахъ или при большихъ нагрузкахъ употребляются рядомъ два рельса, распирая ихъ горизонтальными кирпичами (рис. 218). При пролетахъ до 3-хъ саженей рельсы связываются между собою подшвами (рис. 219), и дѣлается составной рельсъ на болтахъ или заклепкахъ.

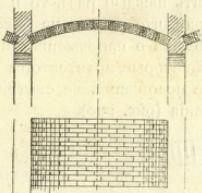


Рис. 216. Ассирийская кладка коробчатыхъ и прусскихъ сводовъ.



Рис. 217. Кладка прусскихъ сводовъ по рельсамъ.

Несмотря на дешевизну железнодорожных рельс надо однако не скрывать, что они часто обходятся до-



Рис. 218. Кладка прусских сводовъ по двумъ рядамъ поставленными рельсами.



Рис. 219. Кладка прусских сводовъ на склоненныхъ подошвами рельсахъ.

роже, чѣмъ употребленіе соотвѣтственныхъ новыхъ тавровыхъ балокъ. Поэтому будетъ рационально сравнить каждый разъ то и другое, причемъ надо имѣть въ виду, что рельсы на поверхности, т. е. въ точкахъ наибольшаго напряженія наибѣльѣ повреждены; отъ этого нѣкоторые архитекторы связываютъ ихъ головками, а не подошвами, не смотря на неудобства такого соединенія (рис. 220).



Рис. 220. Кладка прусскихъ сводовъ на склоненныхъ головками рельсахъ.

Чтобы въ пятовыхъ частяхъ избѣжать очень маленькихъ кусковъ камня, поступаютъ такъ: кладутъ пятовый камень или плашмя или вертикально (рис. 221).

Въ тѣхъ случаяхъ, когда край неопирающимися въ стѣну, а стоящими на свободѣ, какъ часто бываетъ при площадкахъ лѣстницъ, необходимо послѣдній рельсъ стянуть связью (рис. 222).

Всѣ балки и рельсы должны имѣть подушку отъ 6-ти вершковъ длины, подъ которой кладку нужно про-

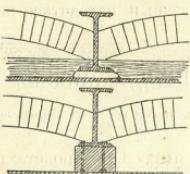


Рис. 221. Кладка прусскихъ сводовъ по двухъяруснымъ балкамъ.

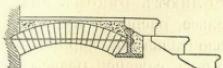


Рис. 222. Кладка прусскихъ сводовъ подъ площадками лѣстницъ.

изводить тщательнѣе, и, если возможно, на цементномъ растворѣ, а при очень сильныхъ давленияхъ необходимо дѣлать чугунную подушку такой величины, чтобы напряженіе кирпича подъ подушкой не превосходило прочнаго сопротивленія послѣдняго сжатію.

Для предупрежденія вреднаго вліянія огня во время пожара, рельсы стараются обкладывать камнемъ или другимъ плохимъ проводникомъ тепла, напр., пустотѣлымъ кирпичемъ, дѣлая изъ послѣдняго и самый сводъ, особенно, въ жилыхъ помѣщеніяхъ (рис. 223). Распалубки въ прусскихъ сводахъ встрѣчаются очень рѣдко и, если явится къ тому необходимости, то можно дѣлать ихъ совершенно такъ же, какъ въ коробчатыхъ. Вмѣсто распалубокъ въ прусскихъ сводахъ часто приходится дѣлать отверстія. Отверстія эти можно раздѣлить на двѣ группы: на круглый и прямоугольный. Въ первомъ случаѣ все отверстіе окружается колышкомъ въ видѣ перемычки; во второмъ случаѣ перемычка будетъ двѣ перпендикулярныя къ щековому сѣченію свода; когда отверстіе будетъ въ углу, то перемычка будетъ только со стороны свода; наконецъ, можно вмѣсто перемычекъ вставлять въ отверстія желѣзныя или чугунныя рамы. Кладка наклонныхъ прусскихъ сводовъ, напр., при клѣткахъ лѣстницъ совершенно тождественна съ кладкой такихъ же коробчатыхъ.

Кружала для прусскихъ сводовъ лежать не на подпоркахъ, а прикрѣпляются къ самимъ балкамъ на особыхъ крючкахъ (рис. 224).

Когда кладка сводовъ идетъ

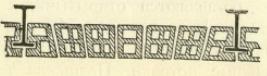


Рис. 223. Прусскій сводъ изъ пустотѣлыхъ кирпичей.

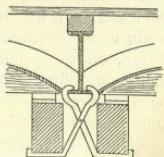


Рис. 224. Кружала прусскихъ сводовъ на балкахъ.

не одновременно между всѣми гуртами или рельсами, то легко можетъ произойти скольженіе въ гуртахъ и изгибъ рельса въ бокъ, почему необходимо въ такихъ случаяхъ ставить временные распорки между гуртами и рельсами.

Раскружаливаніе необходимо производить по возможности осторожно и при томъ необходимо раскружаливать соотвѣтственныя части болѣе или менѣе одновременно.

Очень часто прусскіе своды на балкахъ и рельсахъ не оставляются открытыми, а служатъ лишь вмѣсто смазки и потолочныхъ балокъ, такъ что къ нимъ подшиваются доски и затѣмъ штукатурятъ, какъ обыкновенныхъ потолки. Подшивка такихъ сводовъ представляется затрудненіемъ въ томъ отношеніи, что не имѣется такихъ частей, къ которымъ можно было бы непосредственно прибить доски (подшивку) гвоздями. Въ виду этого прибегаютъ къ слѣдующимъ средствамъ: 1) въ подборахъ стесываютъ концы такъ, чтобы доски свѣшивались ниже линии балокъ или рельса (рис. 225); 2) кладутъ поперечные бруски съ такими же концами и уже къ этимъ брускамъ прибиваютъ подшивку; 3) кладутъ продольные бруски посредствомъ подвѣшивавшихъ желѣзныхъ частей; 4) кладутъ такие же бруски, привинчивая или схватывая ихъ болтами. Второй изъ названныхъ способовъ является наиболѣе дешевымъ, а четвертый наиболѣе прочнымъ. Тѣмъ не менѣе первый изъ приведенныхъ способовъ наиболѣе употребителенъ. Дѣло въ томъ, что при постройкѣ каждого зданія остается много обрѣзковъ отъ $2\frac{1}{2}$ дюймовыхъ досокъ, употребляемыхъ на мщеніе лѣсовъ и по окончаніи постройки являющихся лишними. Вотъ эти то доски могутъ съ выгодою быть употребленными на вышеуказанные работы.

Дѣлая подшивку потолка досками, мы какъ бы уничтожаемъ одно изъ важныхъ достоинствъ каменныхъ перекрытий т. е. ихъ огнепроницаемость, и своды кирпичные

являются какъ бы лишними. Это не такъ. Своды будуть всегда служить противъ пожара, не пропуская огня изъ одного этажа въ другой.

71. Разсчетъ прусскихъ сводовъ.

Такъ какъ прусскій сводъ представляетъ собою частный случай коробчатаго, то и расчетъ его ничѣмъ не отличается отъ расчета послѣдняго. Самый сводъ, собственно говоря, никогдя и не расчитывается, а разсчитываются только гурты, причемъ если гурты арочной кладки, то опредѣленіе устойчивости и прочности аналогично таковому для обыкновенныхъ арок и перемычекъ; если же своды будутъ на рельсахъ или балкахъ, то необходимо опредѣлять прочность послѣднихъ на изгибъ, принимая вѣсъ сводовъ за постоянную нагрузку, равнomoрно переходящую на балку. Такимъ образомъ все сказанное относительно расчета арокъ и коробчатыхъ сводовъ цѣликомъ относится къ прусскимъ.

Возьмемъ численный примѣръ. Пусть будетъ данъ сводъ, показанный на рис. 225. Опредѣлимъ прежде всего вѣсъ свода и нагрузку, приходящуюся на каждую балку. Какъ видно изъ чертежа, поверхность пола и потолка, приходящаяся на каждую балку равна 3 кв. саж. Считая вѣсъ чистаго пола на 1 кв. саженъ равнымъ 15 пудамъ; вѣсъ свода въ $\frac{1}{2}$ кирпича 90 пул.; балки съ потолкомъ 30 пул.; времененную нагрузку людьми 45 пудовъ, получимъ всего на 1 кв. саженъ 180 пудовъ. Такимъ образомъ на каждую балку приходится груза $180 \times 3 = 540$ пудовъ. Глакъ какъ балки длиной 4 сажени и размѣщены на разстояніи 0,75 сажени, то согласно таблицѣ сопротивляемости балокъ (Ч. IX, § 11) находимъ, что минимальные размѣры балокъ должны быть: 12,5 дюймовъ высота и 5,5 ширины, считая балку двутавровой.

Примѣръ второй. Пусть будетъ данъ сводъ, показанный на



Рис. 225. Расчетъ прусскихъ сводовъ на балкахъ.

рис. 226. Строимъ прежде всего диаграмму нагрузки гурта, опредѣляя для этого всѣ грузы, дѣйствующіе на гуртъ. Согласно

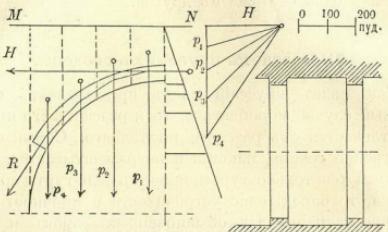


Рис. 226. Рассчетъ прусскихъ сводовъ на аркахъ.

размѣрамъ, показаннымъ на чертежѣ, имѣемъ: вѣсъ чистаго пола равенъ: $2 \times 20 = 40$ пуд.; всѣ свода $2 \times 0,06 \times 1 \times 1000 = 0,12 \times 1000 = 120$ пуд. Итого, всѣ грузы $120 + 40 = 160$ пудовъ. Грузъ этотъ переходитъ на поверхность гурта, равную $0,18 \times 2 = 1,36$ кв. сажени. Слѣдовательно, диаграмма нагрузки выразится горизонтальной линией MN , которая будетъ лежать отъ верхней точки замочного шва гурта на высотѣ

$$\frac{160}{0,36 \times 1000} = 0,44 \text{ сажени.}$$

Дальнѣйшее опредѣленіе устойчивости и прочности гурта производится, какъ въ аркахъ, т. е. опредѣляютъ послѣдственно центры тяжести разнѣхъ элементовъ арки съ диаграммой и находить наибольшій изъ минимальныхъ распоровъ; таковымъ будетъ распоръ, отвѣчающій третьему шву излома и равный согласно масштабу силъ 250 пудамъ; окончательная равнодѣйствующая $R = 480$ пудамъ.

III. Крестовые своды.

72. Виды крестовыхъ сводовъ.

Пара коробчатыхъ сводовъ, пересѣкаясь подъ прямыми углами, образуютъ крестовый сводъ (рис. 227). Направляющая сводовъ можетъ имѣть форму не только

полукруглую, но какую угодно кривую. Въ конструктивномъ отношеніи крестовый сводъ отличается отъ приведенныхъ тѣмъ, что давленіе здѣсь передается исключительно на углы и совершенно отсутствуетъ давленіе на стѣны; если, впрочемъ, не принимать во вниманіе тѣхъ крестовыхъ сводовъ, у которыхъ шелыги не горизонтальная прямая, а кривая или наклонная (рис. 228). Крестовые своды съ подобными шелыгами принято называть приподнятыми или вспарушенными; вспарушенность равна обыкновенно $\frac{1}{30} - \frac{1}{20}$ діагонального пролета, хотя, конечно, вполнѣ зависитъ отъ обстоятельствъ и композиціи.

Въ виду разнообразія плана, который покрываются крестовыми сводами, и въ виду разнаго вида вспарушенности, крестовые своды могутъ быть раздѣлены на слѣдующія виды:

1) крестовый сводъ съ прямой горизонтальной шелыгой (рис. 229);

2) крестовый сводъ съ наклонной (ломаной) и кривой шелыгой, т. е. простой вспарушенный сводъ (рис. 230);

3) крестовый сводъ двояко вспарушенный, съ щековыми (рис. 231) замками на одной высотѣ съ вершиной свода;

4) крестовый сводъ съ опущенной наклонной шелыгой (рис. 232);

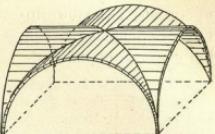


Рис. 227. Схема крестового свода.

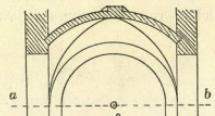


Рис. 228. Обыкновенный вспарушенный сводъ.

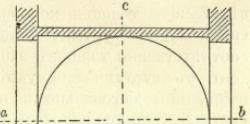


Рис. 229. Простой крестовый сводъ съ горизонтальной шелыгой.

5) крестовый сводъ двояко вспарушенный и опущенный къ центру (рис. 233).

Понятно само собою, что всѣ приведенные виды крестовыхъ сводовъ могутъ перекрывать всякия формы плана.

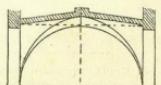


Рис. 230. Вспарушенный крестовый сводъ съ ложаной шемагой.

Что касается толщины крестовыхъ сводовъ, то она дѣлается обыкновенно такой же величины, какъ соот-

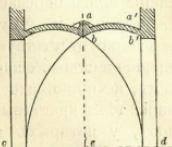


Рис. 231. Двояко вспарушенный крестовый сводъ.

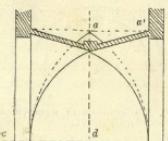


Рис. 232. Вспарушенный крестовый сводъ съ прямой полузвучной шемагой.

вѣтственная толщина коробчатыхъ; если же крестовые своды имѣютъ гурты, то толщина распалубокъ дѣлается соотвѣтственно толщинѣ заполненій коробчатыхъ сводовъ съ гуртами или укрѣпляющими арками. Такъ напр., при діагональномъ пролетѣ до 3-хъ саженей, гурты будутъ толщиною и шириной въ 1 кирпичъ, а распалубки въ $\frac{1}{2}$ кирпича; при пролетахъ въ $4\frac{1}{2}$ сажени, замокъ гуртовъ толщиною въ 1 кирпичъ, пяты въ $\frac{1}{2}$ кирпича; ширина гуртовъ также въ $\frac{1}{2}$ кирпича, толщина замка для распалубокъ въ замкѣ $\frac{1}{2}$ кирпича; къ пятамъ въ 1 кирпичъ. При пролетѣ до 8 саж. гурты имѣютъ въ замкѣ толщину въ 1 кирпичъ, затѣмъ $\frac{1}{2}$

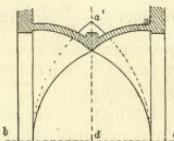


Рис. 233. Вспарушенный крестовый сводъ съ кривой полузвучной шемагой.

и въ пятахъ 2 кирпича; распалубки имѣютъ въ замкѣ $\frac{1}{2}$ кирпича, затѣмъ 1 и въ пятахъ $\frac{1}{2}$.

Графический и аналитический расчетъ крестовыхъ сводовъ значительно отличается отъ такового для коробчатыхъ и прусскихъ сводовъ.

73. Проектирование и кладка крестовыхъ сводовъ.

Крестовые своды изъ тесаннаго камня никогда не имѣютъ гуртовъ, исключая одного случая, а именно: когда діагональные камни кладутся до кладки распалубокъ. Вместо гуртовъ обыкновенно вытесываютъ особые камни по діагональнымъ ребрамъ такъ, чтобы эти камни имѣли поверхности для двухъ распалубокъ подъ 90° , и легко вступали въ перевязь съ камнями для постѣднихъ.

Наиболѣе характерными являются во всякомъ случаѣ камни для общаго замка и пять. Теска ихъ должна быть очень тщательная, чтобы давленіе передавалось на всѣ сопрягаемыя швы. Для упрощенія тески камней избѣгаютъ дѣлать своды изъ тесаннаго камня вспарушенными. Часто дѣлаютъ соотвѣтственные одному и тому же сопрягаемому шву камни неодинаковой толщины, а именно увеличиваютъ толщину къ щекамъ; это конечно, имѣетъ основаніе по отношенію устойчивости и прочности, но въ практикѣ не всегда удобно.

Кладка изъ естественнаго камня (плиты) употреблялась въ средніе вѣка вездѣ, гдѣ только имѣлся такой материалъ. При кладкѣ такихъ сводовъ необходимы хорошия кружала со сплошною опалубкою, особенно въ виду вспарушенности и во избѣженіе сильной осадки. Обыкновенно при этомъ камни складываются насухо и потомъ заливаются жидкимъ растворомъ.

Кирпичъ въ крестовыхъ, какъ и во всѣхъ другихъ сводахъ, является материаломъ наиболѣе употребительнымъ, и потому все излагаемое ниже относится къ сводамъ изъ этого камня.

Простейший видъ крестовыхъ сводовъ будетъ толькъ, когда перекрываемое пространство будетъ квадратное (рис. 234) и направляющія кривыя распалубокъ будуть кругами или частью окружности; диагональное ребро, очевидно, въ этомъ случаѣ есть эллиптическая кривая, легко получаемая черченіемъ по точкамъ, какъ видно изъ чертежа. Диагональные гурты не измѣняютъ нижней поверхности свода, такъ какъ утолщеніе гурта всегда выходитъ на верхнюю (наружную) сторону.

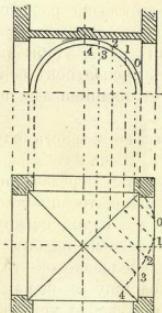


Рис. 234. Проектирование диагонального ребра простого кресто-ваго свода.

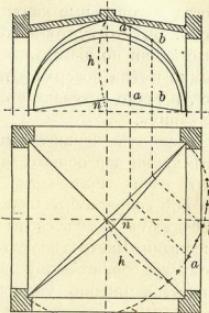


Рис. 235. Проектирование диагонального ребра вспаруженнаго кресто-ваго свода.

Надо замѣтить, однако, что производить кладку распалубокъ съ горизонтальной шельгой никогда не слѣдуетъ въ виду сильной осадки свода, вслѣдствіе большого количества швовъ; поэтому даже тѣ своды, которые должны быть въ чистой отдѣлкѣ съ горизонтальной шельгой, дѣлаются нѣсколько вспаруженными (рис. 235) причемъ не слѣдуетъ забывать, что вслѣдствіе образующагося, хотя незначительнаго, распора на щековыя поверхности, распалубки должны имѣть

нижнюю линію щеки нѣсколько выше нижней линіи щековой арки, если сводъ ограничены не стѣнами, а арками.

Самую кладку распалубокъ можно производить или со швами нормальными къ щековой поверхности или въ елку, или, наконецъ, со швами по кривой линіи. Кладка сводовъ производится обыкновенно послѣ покрытия зданія кровлей, а потому пяты приготовляются по малкѣ. Если направляющія кривыя будутъ изъ одного центра, то для получения линій распалубокъ и реберъ въ разрѣзѣ, вычерчиваемъ одну полуокружность щековой линіи распалубки, и высшую точку проектируемъ на стѣны. Отъ этой же точки назначаемъ на оси высоту вспаруженности n , и соединяемъ три точки ломанной или кривой линіей, которая будетъ представлять собою шельгу свода. На горизонтальной оси откладываемъ ту же величину n и соединяемъ съ начальными свода. Затѣмъ дѣлимъ горизонтальную ось на извѣстное число частей и на полученныхъ ординатахъ круга откладываемъ соотвѣтственную величину вспаруженности. Тогда получимъ линію ребра не только въ сѣченіи параллельномъ щековому, но и диагональному.

Когда крестовый сводъ будетъ сильно вспаруженъ, то ребра въ натурѣ плохо выдѣляются и ихъ дѣлаютъ болѣе замѣтными, заостряя наметомъ штукатурки.

Когда пространство, перекрываемое вспаруженнымъ сводомъ, не квадратное, а прямоугольное, то всѣ направляющія кривыя т. е. ребро и дѣлѣ щековыя линіи распалубокъ будутъ различны по формѣ.

Въ коридорахъ часто даютъ крестовымъ сводамъ одну общую шельгу вдоль оси коридора (рис. 236), почему такой рядъ крестовыхъ сводовъ напоминаетъ

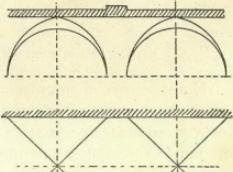


Рис. 236. Рядъ крестовыхъ сводовъ въ видѣ коробчатаго съ распалубками.

коробчатый сводъ съ распалубками, тѣмъ болѣе, что диагональные гурты невидимы снизу.

При клѣткахъ лѣстницъ, крытыхъ крыльцахъ и т. д. встрѣчаются крестовые своды на подобіе коробчатыхъ, имѣющіе одну ползучую шелыгу или кривую, при чёмъ сводъ въ послѣднемъ случаѣ называется ползучимъ вспарушеннымъ.

Определеніе линий ребра показано на чертежѣ (рис. 237).

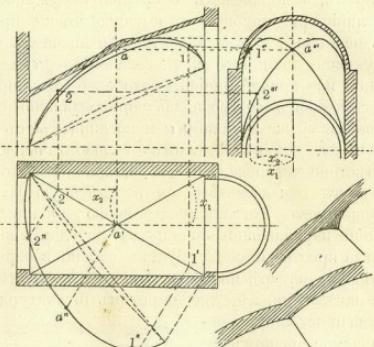


Рис. 237. Ползучий крестовый сводъ.

Когда сводъ будетъ длиннымъ, то въ шелыгѣ свода ребра почти исчезаютъ или сливаются и поэтому лучше вмѣсто такихъ крестовыхъ сводовъ возводить соотвѣтственные бочарные или парусные своды.

Когда для перекрытий служить многоугольная форма плана, то прежде всего надо отыскать центръ тяжести этого послѣдняго; проведенный изъ центра тяжести (рис. 238) къ вершинамъ прямая линія будутъ горизонтальными проекциями реберъ и, если сводъ долженъ

быть не вспарушеннымъ, то выбираютъ одну направляющую полукруглую, а остальные линіи проектируютъ по этой послѣдней. Когда же крестовый сводъ долженъ

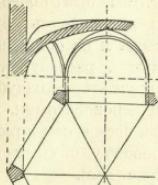


Рис. 238. Крестовый сводъ на 6-ти угольномъ планѣ.

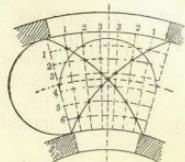


Рис. 239. Кольцевой крестовый сводъ.

быть вспарушеннымъ, то принимаютъ обыкновенно діагональное ребро за полукругъ.

Если планъ будетъ составлять часть кольца (рис. 239), то проектированіе линій производится или по данной діагональной или какъ показано на чертежѣ.

Характерный крестовый сводъ имѣется въ церкви св. Стефана въ Кайненѣ (рис. 240). Мотивъ этой очень удобно примѣнить въ коридорахъ съ полукруглыми окнами. Характерна свода состоять въ томъ, что двѣ распалубки строятся обыкновеннымъ образомъ, а другіе двѣ раздѣлены на части.

Что касается практической стороны кладки

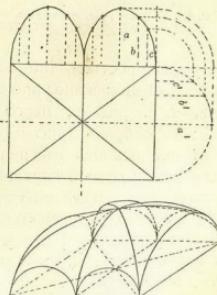


Рис. 240. Крестовый сводъ въ видѣ 6 распалубокъ.

простыхъ полукруглыхъ крестовыхъ сводовъ, то она не представляетъ затрудненій. Кружала дѣлаются или по диагонали, т. е. ставить диагональныя ребра и къ нимъ прикрѣплять ребра, параллельныя къ щековымъ поверхностиамъ, для распалубокъ (рис. 241), или ставить кружала какъ бы для коробчатаго свода и по опалубкѣ ихъ кладутъ кружала для поперечныхъ распалубокъ. Отъ послѣдняго способа дѣланія кружалъ и палубы крестовые своды называются иногда перекрестными.

Послѣднимъ способомъ возводили свои своды и римляне, что видно изъ того, что ребра у нихъ часто не пересѣкаются въ одной точкѣ (рис. 242).

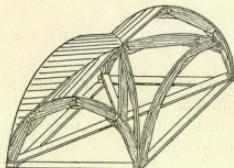


Рис. 241. Кружала крестового свода.

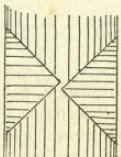


Рис. 242. Римскій кресто-вый сводъ.

Кладка простыхъ (не вспарушенныхъ) крестовыхъ сводовъ обыкновенно производится, какъ и коробчатыхъ, т. е. рядами, параллельными осямъ, но такъ, чтобы въ ребрахъ (рис. 243) не требовалось тески и камни приходились въ перевязь, при чемъ не было бы по ребру одного сплошного шва. Такую же кладку дѣлаютъ при кладкѣ съ гуртами (рис. 244).

Кладка сводовъ вспарушенныхъ обыкновенно производится въ елку, при чемъ отдельные швы перпендикулярны къ диагональнымъ ребрамъ. Гурты должны быть въ этомъ случаѣ возводимы одновременно съ распалубками.

Въ романскомъ стилѣ диагонали дѣлаются обыкно-

венно полукруглыми, а направляющія лотковъ стрѣльчатыми (рис. 245).

На рис. 246 показаны кладка въ разрѣзѣ гуртовъ нѣсколькихъ видовъ крестовыхъ сводовъ, какъ на че-

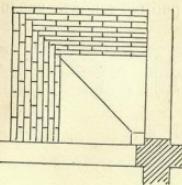


Рис. 243. Кладка крестового свода.

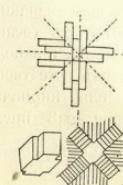


Рис. 244. Кладка крестового свода съ гуртами.

тыреугольномъ, такъ и на многоугольномъ планѣ.

Наименьшее число распалубокъ будуть имѣть кре-

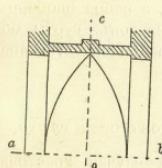


Рис. 245. Проектирование романскихъ крестовыхъ сводовъ.

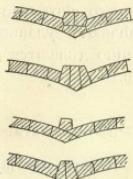


Рис. 246. Разрѣзъ гуртовъ крестовыхъ сводовъ.

стовые своды, перекрывающіе треугольное пространство (рис. 247); своды эти встрѣчаются весьма рѣдко и замѣняются обыкновенно плоскими перекрытиями или сомкнутыми сводами.

Существуетъ особый видъ крестовыхъ сводовъ, называемыхъ реберными, такъ какъ только нѣкоторыя части этихъ сводовъ, а именно ребра, имѣютъ конструктивное значеніе; все же остальное构成ляетъ

какъ бы мертвую нагрузку; давленіе отъ нихъ передается не на опоры, а на ребра. Не представляя такимъ образомъ въ принципѣ отличія отъ обыкновенныхъ, они въ конструктивномъ отношеніи составляютъ своды смѣшанной кладки, а именно: ребра такихъ сводовъ дѣлаются изъ тесанного камня, а заполненіе изъ естественнаго или кирпича.

На рис. 248 пред-

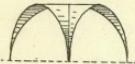


Рис. 247. Крестовый сводъ на треугольномъ планѣ.

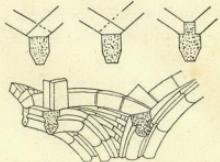


Рис. 248. Реберные крестовые своды.

ставлены некоторые детали такихъ сводовъ.

Реберные своды отличаются отъ сводовъ съ гуртами тѣмъ, что гурты не видны снизу, а ребра наоборотъ, составляютъ главное укараніе сводовъ; гурты обыкновенно дѣлаются изъ кирпича; ребра изъ тесанного камня.

74. Расчетъ крестовыхъ сводовъ безъ гуртовъ.

Возьмемъ сначала простѣйший случай крестового свода т. е. когда планъ перекрываемаго пространства есть квадратъ, шельги горизонтальны и кладка производится рядами, перпендикулярными къ щековому сѣченію; примемъ сводъ нагруженнымъ и диаграмму нагрузки за горизонтальную плоскость (рис. 249). Разобъемъ сводъ на элементарныя арки плоскостями, параллельными къ щековой поверхности, какъ показано на планѣ. Такъ какъ сводъ симметриченъ, то достаточно разсмотрѣть $\frac{1}{4}$ свода или двѣ половины распалубкой. Число элементарныхъ арокъ примемъ 5 и изслѣдуемъ устойчивость наибольшей изъ нихъ, показанной въ

разрѣзѣ. Для этого, какъ и въ обычновенной аркѣ, разбиваемъ ее на элементы вертикальными плоскостями числомъ также 5 для того, чтобы въ планѣ элементы имѣли точки пересѣченія на диагонали. Затѣмъ опредѣляемъ относительный вѣсъ каждого элемента посредствомъ пропорционального треугольника и переносимъ полученные линии на планъ силь. Съ помощью веревочнаго многоугольника опредѣляемъ центры тяжести элементовъ и половины арки. Аналогично изложенному при разсчетѣ арокъ находимъ наибольшій изъ минимальныхъ распоровъ арки и, найдя его, строимъ кривую давленій; прочность опредѣляемъ такъ же, какъ опредѣляли прочность арки, т. е. находимъ наибольшее напряженіе на 1 кв. дюймъ.

Опредѣливъ устойчивость наибольшей изъ арокъ т. е. арки № I (въ планѣ), заключаемъ на основаніи изложенного раньше, что всѣ остальные арки т. е. № II, III, IV и V тѣмъ болѣе устойчивы и прочны. Остается опредѣлить устойчивость и прочность всего свода вообще. Рассматривая планъ и разрѣзъ свода видимъ, что элементарныя арки опираются другъ на друга подъ прямымъ угломъ, следовательно распоръ, развиваемый ими, и кривая давленія въ конечномъ

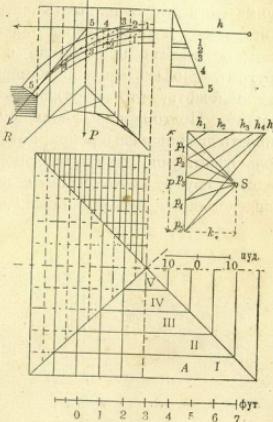


Рис. 249. Расчетъ нагруженного крестового свода.

результатъ переходя на діагональ квадрата, при чмъ плоскости давлениі пересѣкаюся образуя діагональное сѣченіе, въ которомъ будеть дѣйствовать сумма силъ двухъ половинъ четверти свода (распалубокъ) и по діагонали свода пойдетъ кривая давлениія, какъ результатъ непрерывно слѣдующихъ другъ за другомъ кривыхъ давлениія элементарныхъ арокъ, если предположить, что послѣднихъ — безчисленное множество. Поэтому необходимо еще опредѣлить устойчивость діагонального ребра, которое, очевидно, играетъ роль нѣкоторой самостоятельной арки, принимающей на себя грузъ элементарныхъ арокъ и имѣющей непосредственную точку опоры. Для этой цѣли мы могли

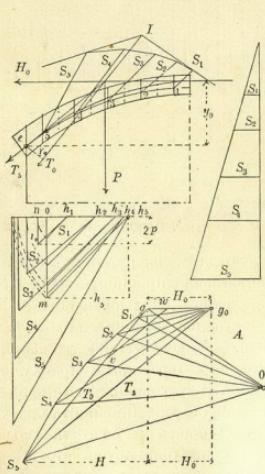


Рис. 250. Определение линии давления въ диагональномъ ребрѣ крестового свода.

бы опредѣлить діаграмму нагрузки діагонального ребра и затѣмъ, какъ въ обыкновенныхъ аркахъ, опредѣлить распоръ и кривую давлениія; но наша діагональная арка оказалась бы ширину въ нуль и, слѣдовательно, діаграмма нагрузки представляла бы мнимую величину. Поэтому мы должны прибѣгнуть къ другому методу, а именно: проектируемъ діагональное сѣченіе въ разрѣзѣ (рис. 250) и дѣлимъ его на 5 элементовъ соотвѣтственно плану; наносимъ на нижней трети швовъ точки, черезъ которыя

проходить окончательная равнодѣйствующія элементарныхъ арокъ, т. е. R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 . Въ этихъ точкахъ (1, 2, 3, 4, 5) имѣемъ силы, дѣйствующія въ плоскости діагонали и составляющія равнодѣйствующію изъ двухъ R , пересѣкающихся подъ прямымъ угломъ. Назовемъ эти равнодѣйствующія буквами S_1, S_2, S_3 и т. д. Изъ всего сказанного слѣдуетъ, что величину S_1 получимъ по величинѣ и направлению на планѣ силъ, возставивъ перпендикуляръ отъ распора и проводя линію изъ точки h , подъ 45° ; совмѣщая эту линію (діагональ) съ направлениемъ распора, изъ точки n откладываемъ два вѣса арки № I и соединяемъ точку h_1 съ точкой I_0 . Линія $I_0 h_1$ будетъ по величинѣ и направлению равна S_1 , параллельно которой и проводимъ ее изъ точки i въ діагональномъ сѣченіи свода. Аналогично этому находимъ величины и направления силъ S_2, S_3, S_4 и S_5 и проводимъ ихъ на томъ же сѣченіи.

Чтобы найти окончательную равнодѣйствующую въ пятахъ крестового свода т. е. T_0 , проводимъ на дополнительномъ планѣ силъ линіи параллельныя и равныя силамъ S_1, S_2, S_3, S_4 и S_5 , причемъ величины силъ можно взять въ меньшемъ масштабѣ съ помощью пропорционального треугольника. Произвольный полюс O и произвольная веревочная линія дадутъ намъ средство найти точку I , черезъ которую пройдетъ T_0 , будучи параллельной къ линіи $g S_5$ на планѣ силъ.

Какъ видно изъ чертежа, линія T_0 не проходить чѣрезъ нижнюю треть пяты, а выходитъ изъ предѣловъ свода; это показываетъ, что діагональное сѣченіе имѣть собственный распоръ для устойчивости, независимый отъ распора элементарныхъ арокъ. Это нужно понимать такъ: если бы сводъ состоять изъ четырехъ чугунныхъ распалубокъ перерѣзанныхъ по діагональмъ, при чмъ распоръ отъ отдельныхъ клиньевъ не существовало бы, то сводъ встаки даваль бы распоръ отъ этихъ четырехъ распалубокъ, который выразился бы

расширением опорных столбовъ. Этотъ дополнительный распоръ легко опредѣлить. Онъ приложенъ въ верхней трети замка и съ єсомъ арокъ долженъ дать равнодѣйствующую, проходящую черезъ точку e . Называя эту равнодѣйствующую черезъ T_s , имѣемъ:

$$H_o y_o = T_o r_o,$$

гдѣ r_o есть разстояніе точки e отъ T_o .

Отсюда

$$H_o = \frac{T_o r_o}{y_o},$$

т. е., чтобы получить величину распора H_o , нужно найти четвертую пропорциональную величинамъ T_o , r_o и y_o . Для этого на планѣ силъ (A) откладываемъ отъ точки g горизонтальную величину r_o , а по направлению T_o величину y_o . Соединивъ точку v и w , проводимъ къ линіи vw параллельную изъ точки S_s . Тогда получимъ линію $gg_s = H_o$, причемъ

$$\frac{H_o}{r_o} = \frac{T_o}{y_o},$$

откуда

$$H_o = \frac{T_o r_o}{y_o},$$

что и требовалось.

Очевидно, линія $g_o S_s$ есть искомая равнодѣйствующая T_s и проходящая черезъ точку e . Чтобы уѣдостовѣриться въ этомъ наглядно, принимаемъ точку g_o за полюсъ и строимъ кривую давленія въ диагональномъ сѣченіи свода, при чемъ отдельныя части линій давленія параллельны линіямъ $g_o g$, $g_o S_1$, $g_o S_2$ и т. д. и пересекаются съ силами S_1 , S_2 , S_3 , S_4 и S_5 . Построенная линія давленія будетъ именно той, которая существуетъ по принципу условноустойчиваго равновѣсія въ диагональномъ сѣченіи свода, и окончательная линія

T_s , дѣйствительно проходитъ черезъ точку e , что и требовалось доказать.

Разсматривая линію давленія диагональнаго ребра, видимъ, что она нигдѣ не выходить изъ средней трети толщины ребра, а слѣдовательно это сѣченіе вполнѣ устойчиво, на основаніи чего заключаемъ и о полной устойчивости всего свода.

Что касается до прочности крестового свода, то наиболѣе слабымъ сѣченіемъ является пята, при чемъ диагональное ребро даетъ пяту въ видѣ прямой линіи, почему опредѣлѣніе прочности требуетъ нѣкоторыхъ особыхъ соображеній сравнительно съ опредѣлѣніемъ прочности коробчатыхъ сводовъ и арокъ. Разсмотримъ для этого форму пять крестового свода (рис. 251); очевидно, когда свѣдъ имѣть выносная пята, то пятовой шовъ въ одномъ углѣ представляетъ собою поверхность двухъ трапеций, непараллельная стороны которыхъ будутъ горизонтальными проекціями ребра и щековой стороны. На этомъ основаніи, если диагональная равнодѣйствующая всѣхъ силъ будетъ T_s , и площадь трапеций (2ω) равна 2ω , то среднее напряженіе равно:

$$\frac{T_s}{\omega \sqrt{2}},$$

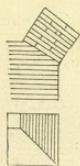


Рис. 251. Пята крестового свода.

гдѣ $\sqrt{2}$ служитъ для полученія величины давленія перпендикулярной плоскостямъ трапеций.

Когда пяты будуть съ малымъ выносомъ, то поверхность пятовыхъ швовъ будетъ представлять собою два треугольника, и, наконецъ, когда пяты совершенно безъ выноса, то пятовые швы будутъ врѣзанными въ кладкѣ стѣнъ или столбовъ въ видѣ треугольниковъ съ вершинами въ обратную сторону (рис. 252). Такимъ образомъ, чтобы опредѣлить прочность крестового

свода, необходимо определить поверхность пятыового шва и наибольшее напряжение в немъ.

Для даннаго примѣра пятя врѣзана; поверхность пяты равна:

$$0,6 \times 0,85 = 0,51 \text{ кв. фута},$$

или

$$0,51 \times 144 = 73 \text{ кв. дюйма}.$$

Такъ какъ согласно масштабу силь величина $T_s = 292$ пуда, считая вѣсъ кубического фута кладки за 3 пуда, то среднее напряженіе въ пятахъ равно:

$$\frac{292}{1,4 \times 73} = 2,8 \text{ пуда, где } 1,4 = \sqrt{2}.$$

Рис. 252. Срѣзанная пятя крестоваго свода.

Это показываетъ необходимость увеличивать иногда пяту, чего можно достигнуть тѣмъ, что дѣлаютъ наибольшую изъ элементарныхъ арокъ входящей частью въ

стѣну (рис. 253) настолько, чтобы наибольшее напряженіе не превосходило 3-хъ пудовъ, если для кладки взять кирпичъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ это показываетъ недостатокъ крестовыхъ сводовъ вслѣдствіе слабости пятъ, когда нѣтъ укрѣпляющихъ гуртовъ по диагонали. Поэтому рѣдко дѣлаютъ своды безъ гуртовъ, если они не полуциркульны или стрѣльчаты и не имѣютъ выносныхъ пятъ; наконецъ, чтобы плоскіе крестовые своды были рациональны, необходимо планъ помѣщений обрабатывать выступающими углами (рис. 254).

Что касается до прочности замка, то проверка ея является излишней, такъ какъ распоръ очень малъ и разлагается на двѣ поверхности подъ прямымъ угломъ.

Когда крестовый сводъ бу-

Рис. 253. Кладка плоскаго крестового свода.

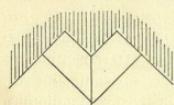


Рис. 254. Обработка плана для плоскаго крестового свода.

детъ не нагруженъ, то дѣленіе его на элементы вертикальными плоскостями значительно усложняетъ расчетъ, и потому будетъ практичеѣ дѣлить элементарныя арки на клины со швами, направленными къ

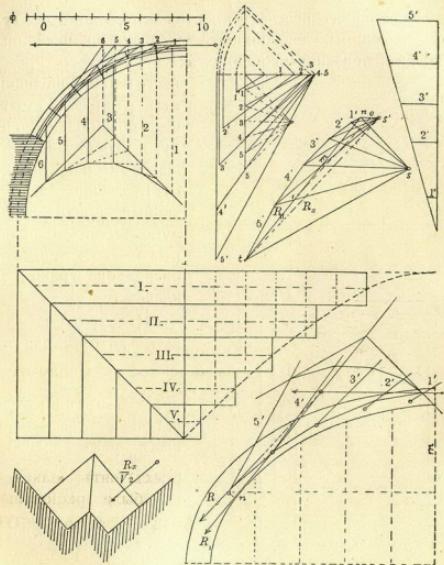


Рис. 255. Рассчетъ ненагруженного крестового свода.

центрю (рис. 255). Длина элементарныхъ арокъ получится на планѣ развертываниемъ расплубки, причемъ видимъ, что наибольшая арка имѣеть 6 клиньевъ, слѣ-

дующая $4\frac{1}{3}$, далѣе почти 3, затѣмъ $1\frac{2}{3}$ и наконецъ только $\frac{1}{3}$ клина. Распоры арокъ и все остальное находимъ точно такъ же, какъ въ нагруженномъ сводѣ.

75. Рассчетъ крестовыхъ сводовъ съ гуртами.

Переходя къ расчету крестовыхъ сводовъ съ гуртами, возьмемъ для большей наглядности численный примѣръ, показанный на рис. 256. Для этого прежде всего беремъ диагональный разрѣзъ гурта, какъ обыкновенную арку, и строимъ на немъ діаграмму нагрузки соптвѣтственно элементарнымъ аркамъ распалубокъ. Какъ видно изъ плана и масштаба, распалубка равна по кладкѣ:

$$16 + 12 + 6 + 2 = 36 \text{ куб. ф., что составить}$$

$$36 \times 3 = 108 \text{ пудовъ,}\\ \text{причемъ вѣсъ послѣдовательныхъ элементарныхъ арокъ равенъ:}\\ \text{при объемѣ 2 куб. ф.}$$

$$2 \times 3 = 6 \text{ пуд.;}\\ \text{при объемѣ 6 куб. ф.}$$

$$6 \times 3 = 18 \text{ пуд.;$$

при объемѣ 12 куб. ф.

$$12 \times 3 = 36 \text{ пуд.};$$

при объемѣ 16 куб. ф.

$$16 \times 3 = 48 \text{ пуд.}$$

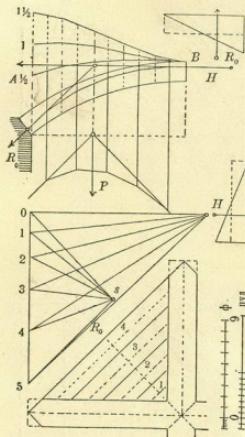


Рис. 256. Рассчетъ крестового свода съ гуртами.

Что касается до элементовъ гурта, то объемы ихъ пропорціональны ordinатамъ сѣченія, при чмъ объемъ пятаго равенъ $[2 \times 2, 5 \times 3 = 15]$ кубическимъ футамъ или вѣсъ его равенъ:

$$15 \times 3 = 45 \text{ пудамъ.}$$

Построивъ, согласно всему сказанному, масштабъ силъ, легко опредѣлимъ діаграмму нагрузки гурта при толщинѣ распалубокъ въ $\frac{1}{2}$ кирпича, а именно: получимъ діаграмму AB .

Если бы лотки были въ 1 или въ $1\frac{1}{2}$ кирпича, то мы получили бы діаграмму болѣе высокую, причемъ нельзѧ не замѣтить, что нагрузка отъ лотковъ на гурты распредѣляется всегда очень выгодно, т. е. нагрузка увеличивается къ пятамъ.

Имѣя такимъ образомъ діаграмму нагрузки, мы при дальнѣйшемъ рассчетѣ поступаемъ совершенно такъ же, какъ поступали при расчетѣ нагруженныхъ арокъ, т. е. опредѣляемъ наибольшій изъ минимальныхъ распоровъ, строимъ кривую давленія и, если гурт окажется устойчивымъ и прочнымъ, то заключаемъ о полной устойчивости и прочности всего свода, предполагая, конечно, что распалубки свода устойчивы и прочны независимо отъ гурта.

Все сказанное о крестовыхъ сводахъ съ гуртами и кладкой перпендикулярной къ щековымъ поверхостямъ относится къ таковыми же сводамъ съ кладкой въ елку или другими видами кладки.

Кладка пятъ для крестовыхъ сводовъ съ гуртами гораздо удобнѣе, чмъ безъ онъхъ, такъ какъ тождественна съ кладкой пять для арокъ.

Что касается разсчета слегка вспарушенныхъ крестовыхъ сводовъ, то онъ мало отличается отъ предыдущаго. Дѣло въ томъ, что если мы раздѣлимъ распалубки на элементарныя арки, то имѣмъ возможность опредѣлить распоры и кривые давленія въ каждой изъ нихъ, а переводя затѣмъ все на диагональное ребро,

поступаемъ совершенно тожественно тому, какъ поступали для крестовыхъ сводовъ стъ горизонтальной шелыгой. Здѣсь нужно только сказать объ одномъ, а именно, что ядро съченія параллелограмма, — формы, которую будуть имѣть съченія элементовъ, есть также параллелограммъ, имѣющій вершины на $\frac{1}{3}$ осей.

Для крестовыхъ сводовъ вспарушенныхъ, имѣющихъ диагональные гурты, расчетъ тожественъ съ расчетомъ такихъ же сводовъ стъ горизонтальной шелыгой.

Гораздо сложнѣе для расчета являются вспарушенные крестовые своды, покрывающіе продолговатое прямоугольное пространство и при томъ съ несимметричными распалубками, какъ напр. сводъ, показанный на рисункѣ 237.

Расчетъ этого свода, какъ и многихъ другихъ, приводится къ расчету элементарныхъ арокъ. Но въ то же время нельзя не замѣтить, что при вспарушенныхъ сводахъ часть распора дѣйствуетъ перпендикулярно къ цоковой поверхности и, следовательно, на эту поверхность перейдетъ и часть груза распалубокъ. Въ практикѣ обыкновенно при расчетахъ преиерегаютъ этой деталью, и оставляютъ эту передачу груза какъ бы въ пользу устойчивости и прочности. Надо при этомъ замѣтить, что вспарушенные своды почти никогда не дѣлаются (и не слѣдуетъ ихъ дѣлать) безъ диагональныхъ гуртовъ.

IV. Купольные своды.

76. Проектированіе купольныхъ сводовъ.

Когда планъ перекрываемаго сводомъ пространства будетъ имѣть круглую форму (рис. 257), то самымъ естественнымъ будетъ перекрыть это пространство сводомъ, имѣющимъ шаровую поверхность. Такой сводъ называется купольнымъ. Очевидно, что поверхность

его можетъ быть и поверхностью эллипсоида, стрѣльчатаго тѣла вращенія, параболоида вращенія и т. д. Главное свойство кладки клиньевъ будеть заключаться въ томъ, что каждый клинъ будеть имѣть четыре сопрягаемыхъ поверхности или, иначе говоря, давленіе на клинья будеть съ четырехъ сторонъ. Такая передача давленія имѣть ту особенность, что если сложить одинъ рядъ клиньевъ (одинъ кольцо), то вся система будеть въ равновѣсіи, несмотря на то, что сводъ еще не закрытъ или не сложенъ еще до замка. Такимъ образомъ равновѣсіе въ купольномъ сводѣ устанавливается вслѣдствіе распора, развиваемаго въ каждомъ горизонтальномъ кольцѣ кладки. Когда покрываемое пространство будеть не круглое, а квадратное или многогранное, то для перекрытия куполомъ необходимо дѣлать переходныя части, называемыя парусами и подробнѣ разсмотрѣнныя нами выше. Подобно коробчатымъ, купольные своды часто украшаются кессонами; кроме того въ купольныхъ сводахъ приходится иногда дѣлать отверстія и распалубки.

Кессоны даютъ обыкновенно видъ правильныхъ многоугольниковъ, размѣры которыхъ съ приближеніемъ къ вершинѣ свода уменьшаются. При распределеніи ящиковъ надобно имѣть въ виду, что красота кессоновъ зависитъ отъ правильного размѣщенія ихъ по осямъ отверстій въ нижележащихъ стѣнахъ, причемъ оси отверстій должно отвѣтывать углубленіе кессона, а оси простѣнка средина дорожекъ.

При проектированіи кессоновъ поступаютъ такъ: берутъ вертикальную линію и на ней откладываютъ длину дуги полусвода (рис. 258). Пусть эта линія будеть MN и въ планѣ пусть будутъ даны ширина дорожекъ и кессоновъ; меридиональная линія тѣхъ и другихъ будуть очевидно прямыми, сходящимися въ центрѣ.

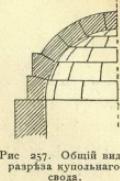


Рис. 237. Общий видъ разрѣза купольного свода.

У нижняго конца MN откладывают длину горизонтальной дуги, отвѣщающей одному кессону и двумъ

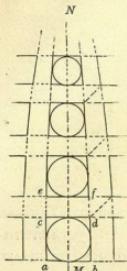


Рис. 258. Простѣйший видъ кессоновъ въ купольномъ сводѣ.

дорожкамъ, а затѣмъ развертываютъ на плоскости поверхность меридiana, получая такимъ образомъ линіи двухъ дорожекъ. Послѣ этого, принявъ за нижнюю линію первого кессона линію ab , описываютъ кругъ такъ, чтобы онъ касался двухъ линій дорожекъ и линіи ab ; тогда верхняя линія первого кессона будетъ касательной къ полученному кругу т. е. будеть cd .

Отложивъ затѣмъ ширину второй горизонтальной дорожки соотвѣтственно ширинѣ вертикальной въ этомъ мѣстѣ, получимъ нижнюю линію второго кессона (ef) и вновь описываемъ подобно предыдущему кругъ, касательный къ линіи ef и двумъ линіямъ вертикальныхъ дорожекъ и т. д. Получивъ такимъ образомъ на развернутой поверхности шара величину кессоновъ, откладываемъ ихъ на разрѣзѣ, гдѣ, кроме того, показываемъ глубину и профиль кессоновъ; съ разрѣза легко можетъ проектировать форму и видъ ихъ въ планѣ и фасадѣ.

Есть еще другой способъ проектированій кессоновъ въ купольномъ сводѣ, когда желательно, чтобы они имѣли по возможности одну и ту же форму, если смотрѣть съ извѣстнаго мѣста. Для этого дѣлять горизонтальный кругъ (рис. 259) на требуемое число кессоновъ частей и описываютъ на горизонтальной оси другой кругъ, отвѣщающей наибольшему кессону т. е. кессону, ближайшему къ пятамъ. Такой же кругъ описываютъ на вертикальной линіи и проводятъ изъ центра свода двѣ касательныя $M'P$ и $M'O$. Затѣмъ на той же вертикальной линіи описываютъ малый кругъ диаметромъ, равнымъ ширинѣ дорожки такъ, чтобы кругъ этотъ

касался линій OM' ; проводя другую касательную т. е. $M'n$, описываемъ опять кругъ диаметромъ, равнымъ ширинѣ наибольшаго кессона такъ, чтобы онъ касался линіи $M'n$ и т. д. Тогда касательная къ кругамъ отсѣкутъ на разрѣзѣ свода высоту кессоновъ, откуда и проектируемъ послѣднѣя какъ на планѣ, такъ и на фасадѣ.

Проектирование распалубокъ и отверстий въ купольномъ сводѣ аналогично тому, какъ это мы видѣли при коробчатыхъ сводахъ. Для этого задается форма распалубки и направление образующей, а отыскиваются вертикальная и горизонтальная проекции пересѣченія распалубки со сводомъ. На рис. 260 представлена одинъ примѣръ такихъ проектирований, причемъ послѣдовательность опредѣленія точекъ показана ковычками по порядку; данные или произвольныя точки обозначены безъ этихъ ковычекъ. Распалубка эта коническая; цилиндрическая распалубка получается еще проще и показана на другой половинѣ свода. Когда цилиндрическая распалубка имѣетъ ось направляющей на линіи оси свода, то въ разрѣзѣ линія пересѣченія распалубки со сводомъ будетъ прямой. Вообще при проектированіи мы пересѣкаемъ сводъ плоскостями, перпендикулярными къ плоскости чертежа и получаемъ два круга одинъ въ пересѣченіи плоскости съ шаровой поверхностью,

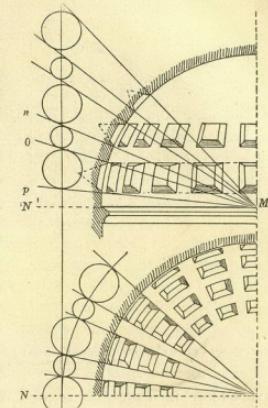


Рис. 259. Проектированіе кессоновъ посредствомъ касательныхъ къ кругамъ.

другой въ пересѣченіи плоскости съ поверхностью распалубки. Если проведемъ тотъ и другой кругъ, то

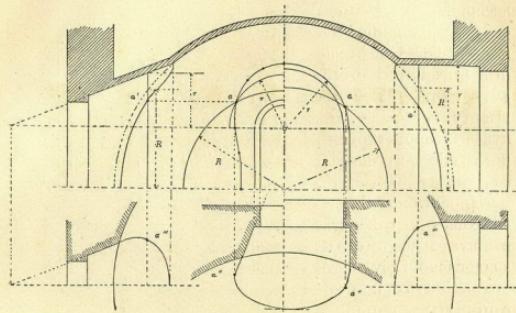


Рис. 260. Распалубки въ купольномъ сводѣ: нальво—коническая распалубка; направо—цилиндрическая.

пересѣченіе ихъ дадутъ точки, лежащія на пересѣченіи распалубки со сводомъ.

Что касается толщины купольныхъ сводовъ, то она почти вдвое меньше толщины коробчатыхъ сводовъ при томъ же пролетѣ. Обыкновенно при диаметрѣ или пролетѣ до 2-хъ саженей толщину дѣлаютъ въ $\frac{1}{2}$ кирпича въ замѣкѣ и швѣ излома; при пролетѣ до 3-хъ саженей толщину въ замѣкѣ также въ $\frac{1}{2}$ кирпича, а въ пятахъ или швѣ излома 1 кирпичъ; при пролетѣ до 4-хъ саженей въ замѣкѣ 1 кирпичъ въ пятахъ $\frac{1}{2}$ кирпича; при пролетѣ 5 саженей въ замѣкѣ 1 кирпичъ, затѣмъ $\frac{1}{2}$, въ швѣ излома 2 кирпича. При сводахъ диаметромъ болѣе 5 саженей лучше провѣрять устойчивость и прочность графически, тѣмъ болѣе, что величина распора значительна и требуетъ точнаго вычислѣнія.

Согласно Рондле опоры купольныхъ сводовъ могутъ

быть вдвое менѣе опоръ коробчатыхъ сводовъ по толщинѣ, такъ какъ распоръ купольного свода почти вдвое менѣе распора коробчатаго при одномъ и томъ же пролетѣ.

77. Кладка купольныхъ сводовъ.

Какъ мы видѣли выше, въ каждомъ клинѣ 4 поверхности будутъ подвержены давленію и, слѣдовательно, всѣ четыре плоскости будутъ сопрягаемы; тѣмъ не менѣе, чтобы отличить швы наклонные отъ швовъ вертикальныхъ мы будемъ называть первые стыковыми и только послѣдніе сопрягаемыми.

Кладку купольного свода, будетъ ли она изъ кирпича или изъ камня, ведутъ до угла 25° — 30° горизонтальными рядами, дѣляя пяту выносной.

Въ виду кольцевой кладки и равновѣсія свода еще открытаго сверху, малые купольные своды можно возводить безъ кружалъ; вороба укрѣпленная въ центрѣ свода даетъ одновременно какъ направлениіе сопрягаемыхъ швовъ, такъ и стыковыхъ. Чтобы камни не скользили при кладкѣ безъ кружаль, перекидываются черезъ нихъ тонкую веревку (причалку), закрѣпленную къ верхней поверхности свода и имѣющую на свободномъ концѣ привязанный кирпичъ (рис. 261). Возможность равновѣсія въ этомъ случаѣ объясняется существующими при этомъ усилиями Q и P , дающими равновѣсістующую R . Причалку съ кирпичемъ перекладываютъ по мѣрѣ кладки на послѣдній изъ положенныхъ камней; когда кольцо будетъ замкнуто, оно само собою будетъ въ равновѣсіи.

Очевидно, при кладкѣ безъ кружаль необходимо одно и то же кольцо класть одновременно съ нѣсколькихъ точекъ по обѣ стороны. При большихъ сводахъ

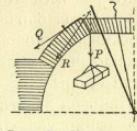


Рис. 261. Кладка купольныхъ сводовъ безъ кружала.

обойтись без кружалъ невозможно, и ихъ дѣлаютъ съ полной опалубкой. Самая конструкція кружалъ можетъ быть значительно проще и легче, чѣмъ при кружалахъ для коробчатыхъ сводовъ и арокъ, въ виду того, что равновѣсіе свода устанавливается по окончаніи кладки каждого кольца.

На рис. 262 показанъ планъ установки кружальныхъ реберъ, изъ котораго видно, что ребра сходятся въ вершинѣ свода, где они подпираются стойкѣ; последнія ставится непремѣнно такъ, чтобы посредствомъ клиньевъ можно было нѣсколько ослабить напряженіе ея вслѣдствіе осадки свода при отвердѣніи раствора.

Всякаго рода отверстія въ купольномъ сводѣ должны быть перекрыты перемычками, исключая отверстій горизонтальныхъ, т. е. помѣщенныхъ въ вершинѣ свода при, такъ называемыхъ, открытыхъ сволахъ.

При большихъ куполахъ необходимо сильно нагружать опорныя стѣны выше пять или при кладкѣ свода класти временные связи. Однако, чтобы избѣжать очень массивной кладки этихъ частей и барабана, можно въ послѣдніхъ дѣлать пустоты или галлереи. Для этой же цѣли иногда барабанъ обрабатывается снаружи контрафорсами или колоннами, причемъ соблюдается главное правило, чтобы кривая давленія проходила въ средней трети опоры.

Какъ на замѣчательный примѣръ купольного свода необходимо указать на сводъ въ соборѣ Петра въ Римѣ. Сводъ этотъ двойной, причемъ наружный замѣняетъ кровлю. Пролѣтъ внутренняго около 20 саженей, высота 14 саженей (сводъ по вертикальному сѣченію эллиптическій). Пята лежитъ ниже, чѣмъ видимая кривая свода на 3 сажени. До $\frac{1}{4}$ высоты, считая отъ наруж-

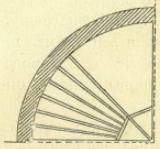


Рис. 262. Размѣщеніе кружалъ купольного свода.

наго аттика, оба купола составляютъ одно цѣлое; сложены изъ кирпича. На внутреннемъ куполѣ имѣются укрѣпляющія арки, числомъ 16, ширина которыхъ уменьшается къ фонарю, а толщина, наоборотъ, увеличивается къ фонарю на $\frac{1}{4}$. Между этими арками (туртами) идетъ кладка купольного свода почти всюду одинаковой толщины, сложенная въ елку, благодаря чему образовались въ послѣднее время продольные трещины, чего при сферической (кольцевой) кладкѣ навѣрное не произошло бы. Наружный куполь покрытъ свинцомъ. Толщина сводовъ чрезвычайная и доходитъ до 1 сажени.

Что касается материала для кладки ненагруженныхъ купольныхъ сводовъ, то стараются выбирать по возможностямъ легкій кирпичъ: опилочный и пустотѣльный. Въ средніе вѣка встрѣчается нѣсколько церквей, где купольные своды сложены изъ особаго вида горшковъ; въ настоящее время такихъ сводовъ не дѣлаютъ и для большей легкости прибѣгаютъ къ тонкимъ бетоннымъ сводамъ, причемъ бетонъ обязательно долженъ быть на цементномъ растворѣ.

78. Разчетъ купольныхъ сводовъ.

Каждый купольный сводъ можетъ быть раздѣленъ меридиональными плоскостями на какое угодно число частей, представляющихъ изъ себя элементарные арки, которыхъ стороны не параллельны между собою (рис. 263), а наклонны подъ извѣстнымъ угломъ. Каждая такая элементарная арка можетъ быть раздѣлена въ свою очередь на элементарные клинья съ боковыми поверхностиами, сходящимися въ центрѣ. Вслѣдствіе своей тяжести и наклоннаго полу-

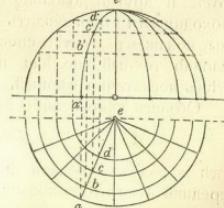


Рис. 263. Меридиональныя вырезки купольного свода.

жения клиньев будуть стремиться скользить вниз, если цѣлый рядъ клиньевъ, образующихъ кольцо, не будетъ замкнутымъ и не будетъ развивать распора. Но несмотря на то, что кольцо будетъ круглымъ, этотъ распоръ взаимно уничтожиться не можетъ, такъ какъ распоры, дѣйствующіе нормально къ сопрягаемымъ швамъ клина, будутъ лежать подъ определеннымъ угломъ другъ къ кругу и, слѣдовательно, дадутъ нѣкоторую равнодѣйствующую, расположенную въ меридиональной плоскости свода (рис. 264). Такимъ образомъ распоръ, дѣйствующій опрокидывающимъ образомъ на стѣны, получится изъ суммы распоръ отдельныхъ колецъ кладки свода.

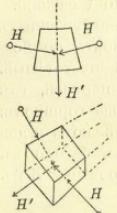


Рис. 264. Распоръ кольца купольного свода.

Раньше однако, чѣмъ перейти къ определенію распора свода, покажемъ, какъ опредѣляются графически относительные вѣса отдельныхъ клиньевъ какого либо меридионального вырѣзка, такъ какъ абсолютный вѣсъ для определенія устойчивости не нуженъ. Самымъ естественнымъ способомъ для определенія этихъ вѣсовъ будетъ геометрический, для чего нужно определить объемъ шарового кольца и раздѣлить его на число вырѣзковъ. Другимъ способомъ будетъ способъ Гюльдена. Но и тотъ и другой довольно утомительны, вслѣдствіе необходимости производить много вычислений. Поэтому мы покажемъ третій способъ, хотя не всегда безусловно точный, но для практическихъ цѣлей болѣе чѣмъ достаточно вѣрный.

Объемъ какого либо кольца равенъ:

$$2\pi rh \cdot m,$$

гдѣ r радиусъ средней поверхности свода; h высота средней дуги этого кольца (рис. 265); m толщина свода. Если сводъ будетъ раздѣленъ на n вырѣзковъ, то объемъ одного клина выразится черезъ

$$k = \frac{2\pi r h m}{n}.$$

Если возьмемъ другое кольцо при томъ же радиусѣ средней поверхности свода, то объемъ кольца равенъ:

$$2\pi r h_1 m$$

и объемъ клина этого кольца при томъ же числѣ вырѣзковъ равенъ:

$$k_1 = \frac{2\pi r h_1 m}{n},$$

откуда

$$\frac{k}{k_1} = \frac{h}{h_1}$$

т. е. объемы, а слѣдовательно и вѣса клиньевъ, относятся между собою, какъ высоты средней дуги. Когда радиусы средней дуги различны, т. е. когда толщина свода различна, то объемъ клиньевъ двухъ рядовъ будеть:

$$k_2 = \frac{2\pi r_2 h_2 m_2}{n}, k_3 = \frac{2\pi r_3 h_3 m_3}{n},$$

откуда

$$\frac{k_3}{k_2} = \frac{r_2 h_2 m_2}{r_3 h_3 m_3}.$$

Но такъ какъ разность между величинами r_2 и r_3 очень мала, то можно принять

$$\frac{r_2}{r_3} = I,$$

и, слѣдовательно,

$$\frac{k_3}{k_2} = \frac{h_2 m_2}{h_3 m_3},$$

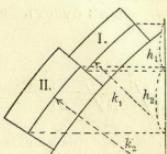


Рис. 265. Вѣсъ клиньевъ купольного свода.

т. е. вѣса и объемы клиньевъ при различной толщинѣ свода относятся, какъ произведенія высотъ средней дуги на толщину свода.

Что касается до положенія центра тяжести клиньевъ, то онъ будетъ лежать почти на средней линіи толщины свода; а въ планѣ будеть лежать (рис. 266) въ центрѣ трапеций. Найдя этотъ послѣдній, проектируемъ его на сводъ и въ пересеченіи со средней дугой получимъ центръ тяжести клина.

Рис. 266. Определеніе центра тяжести купольного свода.

Возьмемъ теперь численный примѣръ расчета купольного свода. Пусть будетъ данъ сводъ, размѣры котораго показаны на рис. 267. Для определенія распора по принципу условно-устойчиваго равновѣсія дѣлимъ сводъ меридиональными плоскостями на нѣсколько вырѣзковъ или арочекъ, имѣющихъ щековыя поверхности сходящимися въ замѣкѣ. Каждую изъ такихъ арочекъ дѣлимъ на клинья числомъ 8. Всѣ клинья будутъ разной величины. Для определенія относительныхъ вѣсовъ клиньевъ проектируемъ на вертикальную ось средней дуги ихъ и переносимъ на планъ силь эти величины такимъ образомъ, что вѣса первыхъ трехъ клиньевъ будутъ съ коэффициентомъ $m_1=1$; вѣса вторыхъ трехъ съ коэффициентомъ $m_2=m_3$ и послѣднихъ двухъ съ коэффициентомъ $m_4=2$ соответственно толщинѣ въ 1, $1\frac{1}{2}$ и 2 фута (или кирпича). Затѣмъ приступаемъ къ определенію центровъ тяжести этихъ клиньевъ.

Очевидно, въ вертикальномъ (меридиональномъ) сѣченіи свода эти центры тяжести лежать почти на средней дугѣ клиньевъ; въ планѣ они лежатъ въ центрахъ тяжести трапеций, служащихъ горизонтальными проекціями средней поверхности клиньевъ. Чтобы определить ихъ, пользуемся геометрическимъ построениемъ, а именно: откладываемъ на параллельныхъ сторонахъ трапеции величину противоположныхъ параллельныхъ

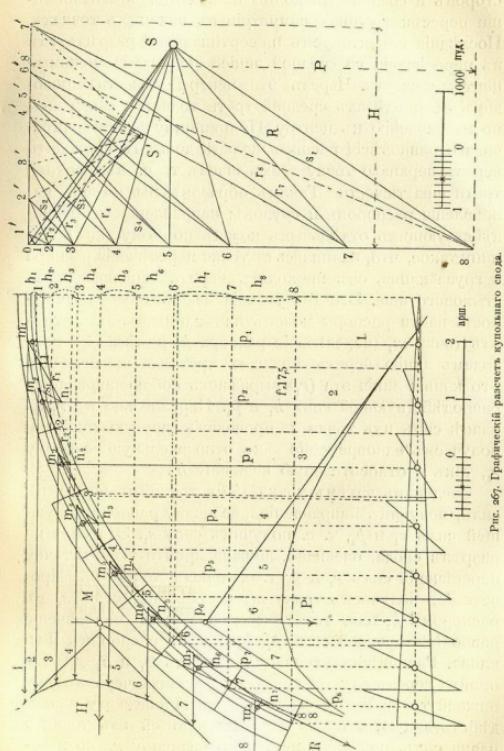


Рис. 267. Графический расчетъ купольного свода.

сторонъ и соединяють концы ихъ. Тогда послѣдній линіи пересѣкутъ линію симметріи въ искомыхъ точкахъ. Послѣдній проектируемъ на вертикальный разрѣзъ, гдѣ въ пересѣченіи со средней линіей получаемъ искомые центры тяжести. Черезъ эти центры тяжести проводимъ въ предѣлахъ средней трети толщины свода швы по направлению къ центру. По принципу условно-устойчиваго равновѣсія распоръ колецъ долженъ проходить черезъ верхнюю точку этихъ швовъ т. е. въ верхней трети шва тяжести. Такимъ образомъ мы имѣмъ направление распоровъ и грузовъ; направление же равнодѣйствующихъ отдельныхъ колецъ по тому же принципу такое, что, начинаясь съ точки пересѣченія распора и груза клина, онѣ проходятъ черезъ нижнюю треть стыкового шва. Эти три условія даютъ намъ возможность найти распоры колецъ или клиньевъ. Для этого изъ точки m_1 (пересѣченіе распора h_1 и вѣса ρ_1) проводимъ линію черезъ нижнюю треть стыкового шва I-го клина; линія эта (r_1) выражаетъ собою направление равнодѣйствующей силы h_1 и ρ_1 . Параллельно къ r_1 на планѣ силь изъ точки i проводимъ другую линію и получаемъ одновременно какъ относительную величину r_1 , такъ и относительную величину h_1 .

Соединивъ затѣмъ точку i' съ точкой 2 на планѣ силь, получимъ направление и величину равнодѣйствующей силы r_1 и ρ_3 , т. е. получимъ силу s_1 . Эта сила на разрѣзѣ свода, очевидно, должна пройти черезъ точку пересѣченія силъ r_1 и ρ_3 , т. е. черезъ точку n_1 . Проведя ее, получаемъ точку m_2 пересѣченія силы s_1 съ распоромъ h_2 или, что то же, получимъ пересѣченіе равнодѣйствующей силы ρ_1 , h_1 и ρ_3 съ распоромъ II-го клина. Равнодѣйствующая r_2 отъ силы s_1 и h_2 должна пройти черезъ эту же точку (m_2), а также черезъ точку нижней трети II-го стыкового шва. Проведя эту равнодѣйствующую, а также параллельную ей изъ точки 2 плана силь, получимъ не только величину r_2 , но и величину h_2 . Продолжая подобнымъ образомъ находить

равнодѣйствующія s_2 , s_3 , s_4 и т. д. и r_2 , r_3 , r_4 и т. д., получимъ въ концѣ концовъ окончательную равнодѣйствующую R . Но эта равнодѣйствующая есть, какъ видно изъ чертежа, результатъ сложенія 7-ми распоровъ, а не 8-ми, такъ какъ распоръ 8-го клина оказался отрицательной величиной; послѣднее обстоятельство показываетъ, что начиная съ 8-го клина, сводъ необходимо рассматривать, какъ имѣющій постоянный меридиональный распоръ, равный суммѣ распоровъ колецъ.

Чтобы провѣрить всѣ построенія, сложимъ независимо другъ отъ друга полученные распоры и полученные вѣса клиньевъ; само собой разумѣется, что, если построенія сдѣланы правильно, то равнодѣйствующая всѣхъ распоровъ, а именно, H , должна пересѣкать силу R въ той же точкѣ, въ которой пересѣкть эту силу равнодѣйствующая всѣхъ грузовъ т. е. сила P . Силы H и P получаемъ съ помощью двухъ веревочныхъ многоугольниковъ, совершенно независимыхъ другъ отъ друга. Такъ какъ дѣйствительно силы P и H пересѣкаютъ R въ одной и той же точкѣ M , то заключаемъ, что наши построенія сдѣланы правильно.

Чтобы судить о томъ, устойчивъ ли сводъ или вѣтъ, разматываемъ положеніе точекъ m ; такъ какъ эти точки не выходятъ изъ средней трети толщины свода, то заключаемъ, что сводъ устойчивъ относительно вращенія и, такъ какъ при этомъ направленіи силъ r нигдѣ не образуютъ со стыковыми швами угла меньше 60° , то заключаемъ, что сводъ устойчивъ и относительно скольженій.

Для опредѣленія прочности свода необходимо знать абсолютную величину какъ распоровъ, такъ и грузовъ. Эта величина получается на основаніи стѣдущаго. Предположимъ весь сводъ раздѣленнымъ на 100 вырезковъ и опредѣлимъ вѣсъ всего кольца, безразлично кото-
рого. Возьмемъ восьмое кольцо.

Объемъ его равенъ:

$$2\pi r \cdot h \cdot t,$$

гдѣ t толщина свода въ этомъ кольцѣ, т. е. 2 фута; h высота средней дуги кольца, и r радиусъ этой дуги; согласно масштабу $h=2,52$ фут., $r=19$ фут. Подставляя эти величины, найдемъ объемъ 8-го кольца:

$$v_8 = \pi \times 19 \times 2,52 \times 2 = 600 \text{ куб. футамъ},$$

что при вѣсѣ 1 куб. фута въ 3 пуда, составитъ грузъ $600 \times 3 = 1800$ пудовъ или вѣсъ 8-го клина взятаго вырѣзка равенъ

$$\frac{1800}{100} = 18 \text{ пудамъ.}$$

Этому вѣсу отвѣчаетъ длина линіи γ' 8 на планѣ силъ и потому, раздѣливъ ее на 18 частей, получимъ величину или масштабъ для 100 пудовъ. Согласно этому масштабу распоръ одного вырѣзка $H=32,5$ пуда; равнодействующая $R=71,5$ пуда; $P=64$ пуда.

Такимъ образомъ на всю пяту давить сила $71,5 \times 100 = 7150$ пудовъ. Площадь же пяты равна:

$$w = 2\pi f t,$$

гдѣ f есть радиусъ средней дуги пятового кольца; $t=2$ фута. По масштабу $f=17,5$ фута, и, слѣдовательно, $w = 2\pi \times 17,5 \times 2 = 220$ кв. фут., а потому среднее давленіе на 1 кв. футъ будетъ

$$\frac{7150}{220} = 32,5 \text{ пуда}$$

или на 1 кв. дюймъ

$$\frac{32,5}{144} = 0,22 \text{ пуда.}$$

Наибольшее напряженіе согласно гипотезѣ Навье будетъ вдвое болѣе т. е. $0,22 \times 2 = 0,44$ пуда на 1 кв. дюймъ. Это подтверждаетъ правило, по которому: при достаточной устойчивости, прочность купольного свода будетъ со значительнымъ запасомъ, если пролетъ не превосхо-

дитъ 10 саженей и кирпичъ обладаетъ сопротивлениемъ (прочнымъ) до 3-хъ пудовъ на 1 кв. дюймъ.

Если возьмемъ примѣръ разсчета открытаго купольного свода, показаннаго, напр., на рис. 268, то посту-

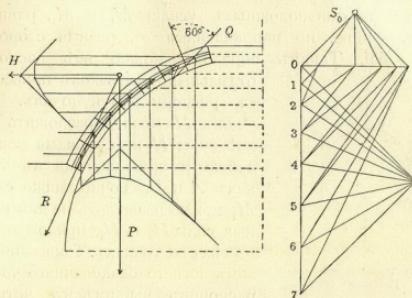


Рис. 268. Разсчетъ открытаго купольного свода.

паемъ совершенно такъ же, какъ при закрытомъ, такъ какъ распоръ каждого кольца будетъ проходить черезъ верхнюю треть шва тяжести и, слѣдовательно, условія равновѣсія остаются тѣ же. Весь ходъ разсчета виденъ на прилагаемомъ чертежѣ.

79. Разсчетъ связей купольного свода.

Въ то время, какъ разсчетъ связей для коробчатыхъ, прусскихъ и крестовыхъ сводовъ совершенно тождественъ съ разсчетомъ связей для арокъ, связи купольного свода приходится разсчитывать особо. Дѣло въ томъ, что въ послѣдніихъ сводахъ при колцевыхъ связяхъ меридиональный распоръ дѣйствуетъ поперекъ связи и притомъ въ видѣ непрерывной силы и, такъ какъ связь при этомъ заложена по кругу, то нельзя

расчитывать ее ни какъ простую связь или струну, ни какъ балку, подверженную изгибу.

Чтобы определить поэтому размѣры связи, рассуждаемъ такъ: на кольцевую связь дѣйствуетъ безчисленное множество усилий; всѣ эти усилия можно сложить въ два противоположныхъ усилия M_1 и M_2 , равныя между собою, но направленныя въ разныя стороны (рис. 269). Такимъ образомъ, можно всѣ распоры отдѣльныхъ вырѣзковъ привести къ распору полукуполовъ. Но усилие M_1 можно разложить на двѣ силы H_1 и H_2 , равныя между собою и приложенные въ точкахъ A и B . Точно также силу M_2 можно разложить на двѣ равныя силы H_3 и H_4 , приложенные въ тѣхъ же точкахъ. Такимъ образомъ вместо бесконечнаго числа распоровъ мы имѣемъ четыре равныя между собою силы H_1 , H_2 , H_3 и H_4 , причемъ силы H_1 и H_2 взаимно уничтожаются, разрывая связь какъ струну, т. е. дѣйствуя вдоль связи; точно такъ же какъ силы H_3 и H_4 взаимно уничтожаются, разрывая связь въ точкѣ B .

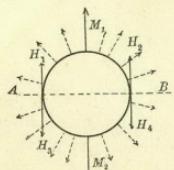


Рис. 269. Распределение усилий въ купольномъ сводѣ.

Итакъ, чтобы определить размѣры связи необходимо умѣть разложить всѣ распоры свода на четыре силы, равныя и приложенные къ концамъ одного диаметра. Назовемъ распоръ всего свода, полученный по изложеному выше способу, черезъ H_o , а искомый распоръ, разрывающій связь черезъ H_r . Затѣмъ рассуждаемъ такъ: если мы будемъ складывать всѣ распоры отдѣльныхъ меридиональныхъ вырѣзковъ (рис. 270), то на планѣ силъ получимъ замкнутый многоугольникъ съ такимъ числомъ сторонъ, сколько было взято вырѣзковъ. Если возьмемъ вырѣзки только четверти свода, то многоугольникъ силъ будетъ также четверть круга, причемъ равнодѣйствующая всѣхъ распоровъ равна радиусу.

Изъ этого заключаемъ, что четырѣ силы, которыя могутъ замѣнить дѣйствіе всѣхъ распоровъ свода

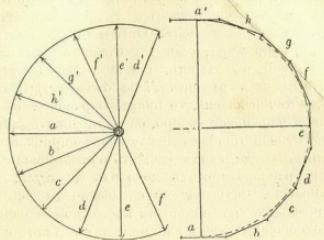


Рис. 270. Выво въ величинахъ усилия, разрывающаго связь купольнаго свода.

равны каждая радиусу, если сумма распоровъ принятая за окружность. Иначе говоря

$$\frac{H_s}{H_o} = \frac{r}{2\pi r},$$

откуда

$$H_s = \frac{H_o}{2\pi},$$

т. е. сила, разрѣзывающая связь, равна распору всего купольнаго свода, раздѣленному на 2π , т. е. на 6,28. Итакъ, зная распоръ свода, мы для определенія величины связи находимъ усилие H_s , разрывающее связь, какъ простую струну.

Въ примѣрѣ, приведенномъ выше, распоръ равенъ 3250 пудамъ, сѣдовательно:

$$H_s = \frac{3250}{2\pi} = 517,5 \text{ пуд.}$$

а потому при сопротивлѣніи желѣза въ 330 пуд. на 1 кв. дюймъ, сѣченіе связи должно быть не менѣе

$$\frac{517,5}{330} = 1,61 \text{ кв. дюйма.}$$

для каковой цѣли годно желѣзо полосовое размѣрами $3'' \times \frac{5}{8}''$

Примечаніе. Изучение устойчивости многих исторических памятников показывает, что распорь купольного свода может не влиять на устойчивость опоры и что этот распорь как бы уничтожается трением кирпичей в перевязи отдельных кусков. Опыты вполне подтверждают это. Такъ, напримѣръ, если мы сложимъ купольный сводъ изъ кирпичей въ тѣмъ, причемъ сводъ будетъ такой формы, что весь распорь H не болѣе $0,375P$, где P въсъ свода до точки излома, то никакого распора на опоры не передать или, иначе говоря, распорь уничтожается помимо железной связи трением между собой кирпичей свода.

Если тот же сводъ сложить изъ кирпичей логомъ, то величина распора можетъ доходить до $0,75P$, т. е. почти вдвое больше. Вотъ почему слѣдовало бы всѣ купольные своды возводить изъ кирпичей небольшой толщины и такъ, чтобы отношение толщины кирпичей къ длине вдоль круга было по возможности меньше.

V. Сомкнутые своды.

80. Проектирование и кладка сомкнутыхъ сводовъ.

Когда планъ представляетъ по формѣ многоугольникъ, а не кругъ, то купольный сводъ будетъ съ видимыми ребрами и поверхность его не представляется поверхности тѣла вращенія. Поэтому, въ отличие отъ предыдущихъ, такие своды называются сомкнутыми (рис. 271). Наименьшее число сторонъ въ планѣ будеетъ 3. Сомкнутый сводъ можно рассматривать такъ же какъ пересѣченіе двухъ коробчатыхъ, у которыхъ откинуты распалубки. Щековыхъ плоскостей у этихъ сводовъ, какъ и у купольныхъ, не имется и давленіе передается на всѣ стѣны, почему и пять обходитъ все перекрываемое пространство. Часто называются сомкнутый сводъ купольнымъ, особенно если число сторонъ въ планѣ болѣе 8-ми, напр., куполь флорентійскаго собора, который собственно есть сомкнутый сводъ на восьмиугольномъ барабанѣ. Изъ сказаннаго заключу-

аемъ, что сомкнутый сводъ самое рациональное возводить на планѣ, представляющемъ правильный многоугольникъ, и только въ такихъ сводахъ опредѣленіе распора и кривыхъ давленія можетъ быть сдѣлано довольно точно.

Направляющія кривыя сводовъ могутъ быть, какъ въ коробчатыхъ сводахъ и аркахъ, весьма разнообразны. Кружала отливаются отъ кружала для крестовыхъ сводовъ тѣмъ, что главными ребрами служатъ диагональныя, поднимаемыя посрединѣ стойкой, называемой „монахомъ“, почему и самые своды называются иногда монастырскими или котельными (рис. 272).

Кладка сводовъ производится по сплошной опалубкѣ и при томъ двояко: въ елку или прямымъ швами, параллельными къ сторонамъ плана, какъ и въ коробчатыхъ сводахъ. Вспомогательные ребра кружаль идутъ къ диагональнымъ подъ угломъ 45° . Такимъ образомъ диагональныя ребра будутъ сильно нагружены, почему ихъ необходимо дѣлать по возможности прочными. Осадка сомкнутыхъ сводовъ послѣ раскружаливания гораздо меньше осадки коробчатыхъ и крестовыхъ сводовъ и немного больше, чѣмъ въ сводахъ купольныхъ.

Сомкнутый сводъ для невысокихъ помѣщеній еще

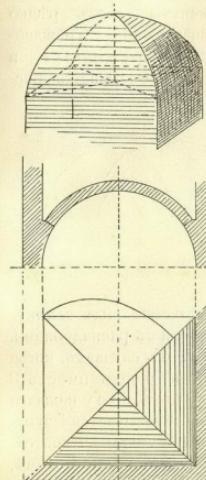


Рис. 271. Перспективный видъ, разрѣзъ и планъ сомкнутаго свода.

неудобнѣе, чѣмъ коробчатый, имѣющій по крайней мѣрѣ два щековыхыхъ лица, могущихъ отвѣтить отверстіямъ оконъ и дверей въ помѣщеніяхъ. Поэтому въ простѣйшемъ своемъ видѣ сомкнутый сводъ рѣдко встрѣчается въ гражданскихъ сооруженіяхъ, а всегда сопровождается распалубками.

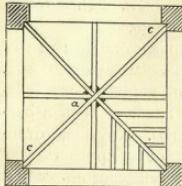


Рис. 272. Размѣщеніе кружалъ сомкнутаго свода.

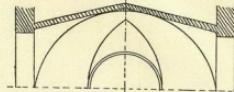


Рис. 273. Распалубка въ сомкнутомъ сводѣ.

На рисункѣ 273 представленъ одинъ видъ сомкнутаго свода съ распалубками.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда сомкнутый сводъ имѣеть 8 распалубокъ, по 2 у каждого угла, онъ называется іезуитскимъ (рис. 274). Легко отличить этотъ сводъ тѣмъ, что въ планѣ получаемъ лотки сомкнутаго свода въ видѣ простого креста.

Этотъ послѣдній видъ сомкнутыхъ сводовъ красивъ только при квадратномъ планѣ.

Когда требуется передать давленіе на углы, то сомкнутый сводъ проектируется слѣдующимъ образомъ. Пусть перекрываемое

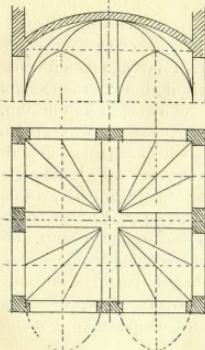


Рис. 274. Іезуитскій сводъ.

пространство представлеть въ планѣ квадратъ *abcd* (рис. 275); строимъ другой квадратъ такъ, чтобы діагональ первого была равна стѣронѣ второго; если перекроемъ второй квадратъ простымъ сомкнутымъ

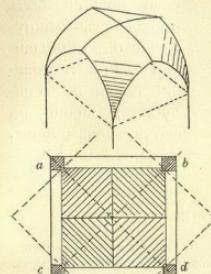


Рис. 275. Простой парусно-сомкнутый сводъ; перспективный видъ.

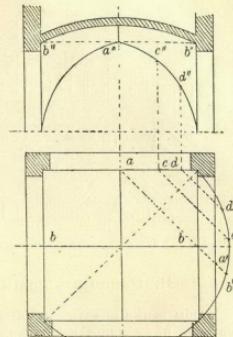


Рис. 276. Проектированій парусно-сомкнутаго свода.

сводомъ и отсѣчемъ четыре уголка, то получимъ искомый сводъ съ передачей давленія на точки *a*, *b*, *c* и *d*; такой сводъ называется „парусно-сомкнутымъ“, такъ какъ лотки его сильно напоминаютъ паруса.

Очевидно, если въ парусно-сомкнутомъ сводѣ направляющая свода (лотковъ) была полукругомъ, то діагональная направляющая есть эллипсъ. Проектированіе парусно-сомкнутаго свода показано на рисункѣ 277.

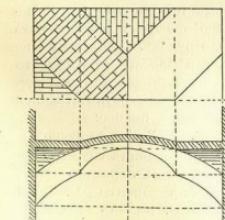


Рис. 277. Видъ сложныхъ парусно-сомкнутыхъ сводовъ.

Кромъ означенныхъ видовъ сомкнутыхъ сводовъ существовать множество другихъ, особенно въ связи съ распалубками; одинъ изъ нихъ показанъ на рисункѣ 277.

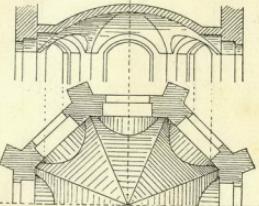


Рис. 278. Обработка сомкнутыхъ сводовъ стъ распалубками.

На сколько красиво можетъ быть обработанъ сомкнутый сводъ при удачномъ проектированіи плана и распалубокъ, видно на сводѣ, показанномъ на рисунку 278.

81. Рассчетъ сомкнутыхъ сводовъ.

Чтобы яснѣе видѣть, какои способъ кладки слѣдуетъ предпочтать въ сомкнутыхъ сводахъ, покажемъ сначала рассчетъ устойчивости и прочности ихъ. Пусть будетъ дано разсчитать сводъ, показанный на рисунку 279. Въ прежнее время разсчетъ производился такъ: дѣлили сводъ на элементарныя арки *a*, *b*, *c*, *d*.

Затѣмъ брали наибольшую изъ нихъ и опредѣляли наибольшій изъ минимальныхъ распоровъ по принципу условно-устойчиваго равновѣса, совершиенно такъ же, какъ въ обыкновенныхъ аркахъ. Согласно размѣрамъ и масштабу силъ, распоръ H_1 равенъ 38,00 пудовъ. Точно также найдемъ распоръ для арки *b*, который будетъ $H_2 = 20,00$ пудовъ. Для арки *c* съ распоромъ $H_3 = 11,00$ пудовъ и, наконецъ, для арки *d* распоръ будетъ $H_4 = 5,00$ пудовъ.

Каждый изъ распоровъ дасть съ вѣсомъ соотвѣтственной арки равнодѣйствующую разной величины, а именно:

$$R_1 = 65,00 \text{ пудовъ}; R_2 = 42,00; R_3 = 28,00; R_4 = 15,00 \text{ пудовъ}.$$

Сложивъ всѣ эти равнодѣйствующія, получимъ силу R_0 , проходящую на всю опорную стѣну, причемъ сила R_0 , сила распора будеть наибольшей. Взявъ моменты распоровъ относительно нижней трети пятового шва, имѣмъ слѣдующія относительныя величины ихъ:

$$H_1 h_1, H_2 h_2, H_3 h_3, H_4 h_4.$$

Если отложимъ линіи, пропорциональныя этимъ моментамъ, на линіи стѣны, то получимъ схематическое изображеніе дѣйствія распора свода на опору.

Все это, однако, не совсѣмъ вѣрно. Дѣло въ томъ, что здѣсь упущенъ изъ виду, что арки пересекаются подъ угломъ и что распоръ только въ крайнемъ случаѣ пойдетъ подъ угломъ $90^\circ - \varphi$ къ диагонали (гдѣ φ — уголъ тренажа) и что поэтому разсматривать элементарныя арки въ такомъ видѣ, какъ это было сдѣлано выше, нѣтъ никакого основанія. Если бы мы начали разсчитывать устойчивость свода, разбивая его на арки, какъ показано на томъ же планѣ диагональными стрѣлками, то получили бы схему почти обратную, т. е. нашлибы, что наибольшій моментъ будеть на углахъ.

На этомъ основаніи, а также на томъ, что горизонтальная часть лотка представляеть собою какъ бы плоскую перемычку, праильнѣе разсчитывать сомкнутый сводъ, какъ купольный, съ той только разницей, что въ купольномъ сводѣ кольцевые распоры, складываясь, даютъ меридианальный распоръ, а при сомкнутомъ служить дополнительнымъ — арочнымъ. Благодаря этому опредѣленіе распора свода не только будеть ближе къ натурѣ, но и значительно упростится. Рассчетъ этотъ имѣть еще и то основаніе, что лотокъ свода (который, замѣтимъ кстати, рѣдко бываетъ пологимъ) представляеть собою въ развернутомъ видѣ

Рис. 279. Рассчетъ сомкнутыхъ сводовъ по элементамъ.

равнобедренный треугольник с острой угловой въ вершинѣ, следовательно, если бы въ такомъ лоткѣ вся сила была сосредоточена въ вершинѣ, она передавалась бы почти равномерно всему нижнему шву.

Что же касается до нѣкоторыхъ фактовъ, гдѣ стѣны при сомкнутыхъ сводахъ даютъ трещину въ средней длины, то это можетъ происходить оттого, что моментъ сопротивленія стѣны въ этомъ мѣстѣ меньше. Мы видимъ, что даже при крестовыхъ сводахъ, вовсе не передающихъ распора на стѣны, появляются трещины въ средней послѣднихъ.

Такимъ образомъ для определенія истиннаго распора сомкнутаго свода, приведеннаго нами выше, правильнѣе будетъ рассматривать весь лотокъ (во всю ширину) одновременно, дѣля его на клины плоскостями, сходящимися въ центрѣ. Опредѣливъ объемъ каждого клина (рис. 280) и нанеся на планѣ силы

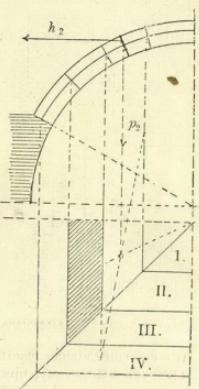


Рис. 280. Расчетъ сомкнутаго свода, какъ купольнаго.

линий, пропорциональныхъ этимъ объемамъ, строимъ линію давленія совершенно такимъ же образомъ, какъ въ купольномъ сводѣ, почему всѣ построения совершенно понятны безъ объяснений.

Сравнивая величины распора всего свода, полученные тѣмъ или другимъ способомъ, видимъ что онѣ почти одинаковы. Разность двухъ разсчетовъ заключается въ результате лишь въ томъ, что по первому способу пята получается нагруженной во всю длину неравномерно. Это конечно въ пользу устойчивости, но уже чрезмѣрно, такъ какъ вслѣдствіе такого разсчета приходится дѣлать стѣны вдвое толще, чѣмъ онѣ встрѣчаются иногда въ на турѣ.

Что касается до прочности сомкнутаго свода, то она опредѣляется такъдѣ, какъ прочность остальныхъ сводовъ.

Сомкнутый сводъ часто бываетъ открытымъ сверху и можетъ сохранять свое равновѣсіе въ такомъ видѣ, но только до извѣстнаго предѣла величины отверстія.

Это также служитъ доказательствомъ того, что наибольшій моментъ распора можетъ не принадлежать средней элементарной аркѣ, и часто силы въ верхнихъ частяхъ сомкнутаго свода распредѣляются совершенно такъ же, какъ въ купольномъ.

Отверстія въ сомкнутомъ и купольномъ сводѣ часто служатъ для освѣщенія, причемъ сводъ оканчивается фонаремъ. Разсчетъ въ этомъ случаѣ не представляется ничего особенного, хотя кладка свода и фонаря получаютъ нѣкоторую переходную часть, а именно, кольцо или перемычку, горизонтально сложенную, какъ видно на рисункѣ 281.

Сопоставляя сказанное выше, заключаемъ, что болѣе рациональной кладкой для сомкнутыхъ сводовъ слѣдуетъ считать кладку въ елку. Но весьма рациональной будетъ также кладка швовъ по кривой линіи, причемъ различные ряды камней можно принимать по распределенію усилий за соотвѣтственныя кольца купольнаго свода.

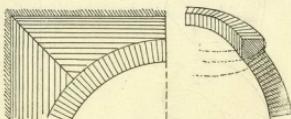


Рис. 281. Кольцо открытаго сомкнутаго свода.

VI. Парусные своды.

82. Проектирование парусныхъ сводовъ.

Если мы въ купольномъ сводѣ отсѣчемъ вертикальными плоскостями бока, то получимъ сводъ парусный (рис. 282). Изъ этого определенія явствуетъ, что парусный сводъ можетъ перекрывать какое угодно пространство: треугольное, прямоугольное, квадратное, многоугольное и т. д., причемъ вовсе не требуется, чтобы планъ былъ правильнымъ многоугольникомъ.

По своей красотѣ и конструктивности парусные своды занимаютъ первое мѣсто; поэтому то парусные своды встѣрѣчаются такъ часто въ хорошихъ архитектурныхъ постройкахъ. Передавая давленіе главнымъ образомъ на углы, парусные своды вмѣстѣ съ тѣмъ передаютъ хотя и небольшую часть груза на стѣны. Кладка

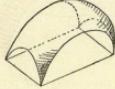
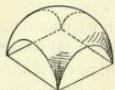


Рис. 282. Происхождение парусныхъ сводовъ.

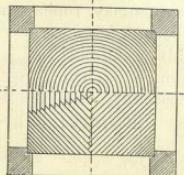


Рис. 283. Кладка парусныхъ сводовъ.

парусныхъ сводовъ бываетъ или сферическая, какъ въ купольныхъ сводахъ, или въ елку (рис. 283). Первый способъ кладки не только проще, но и естественнѣе и рациональнѣе.

Все сказанное о купольныхъ сводахъ относится и къ паруснымъ; что же касается до проектированія въ разрѣзѣ различныхъ линій, ограничивающихъ сводъ, то таковыя получаются на основаніи этого свойства, что всякое съченіе шара есть кругъ, а потому всѣ кривыя паруснаго свода, разъонѣ будуть параллельны къ плоскости чертежа, суть дуги круга, описанного изъ одного центра, лежащаго на высотѣ горизонтальныхъ пять. Если требуется, напримѣръ, спроектировать парусный сводъ на квадратномъ планѣ (рис. 284), то основной кругъ будеть съ радиусомъ, равнымъ половинѣ диагонали плана.

Этимъ радиусомъ описываемъ кругъ для линій, проходящей черезъ ось свода; остальная линія будеть имѣть радиусъ длину половины сторонъ квадрата. Для получения ліагонального разрѣза слѣдуетъ спроектировать всѣ точки подъ угломъ 45° .

Когда планъ перекрываемаго пространства будеть прямоугольнымъ, то радиусъ шара, изъ котораго получается парусный сводъ, равенъ половинѣ диагонали прямоугольника (рис. 285), и разрѣзъ свода по двумъ перпендикулярнымъ плоскостямъ будеть имѣть разный видъ, соотвѣтственно длине сторонъ плана.

Наконецъ, когда парусный сводъ будеть пологій, радиусъ шара болыше диагонали плана (рис. 286), а потому всѣ линіи разрѣза будуть лучковыми кривыми (частью окружности); радиусъ этихъ кривыхъ будуть равны половинѣ линій, представляющихъ длину сторонъ плана, но продолженныхъ до пересеченія большого круга, радиусъ котораго равенъ радиусу образующаго шара.

Парусный сводъ можно возводить на планѣ какого угодно вида; чтобы получить проекціи свода, поступаемъ совершенно аналогично предыдущему во всѣхъ случаяхъ. Такъ, напримѣръ, если намъ данъ пятиугольный планъ, центръ свода и радиусъ шара, изъ котораго долженъ быть выкроенъ парусный сводъ (рис. 287),

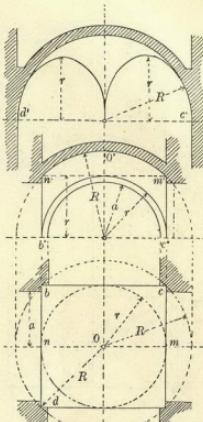


Рис. 284. Проектирование полукруглого парусного свода.

то мы продолжаем стороны пятиугольника до пересечения с линией окружности и на полученныхъ величинахъ описываемъ полукруги. Тогда заштрихованные части представляютъ щековыя плоскости паруснаго свода и легко будетъ спроектировать ихъ на разрѣзъ.

При устройствѣ кружала для парусныхъ сводовъ необходимо обращать вниманіе на побочныя ребра. Дѣло въ томъ, что какъ главныя ребра, такъ и побочныя, ставятся по меридиональнымъ плоскостямъ, а потому всѣ они будутъ имѣть одинаковые радиусы кривизны. Плотники, приготовляющіе эти ребра, дѣлая ихъ по одной воробѣ, часто однако ставятъ ихъ нормально къ щековымъ плоскостямъ свода. Вслѣдствіе этого поверхность свода получается совершенно неправильной и при томъ настолько, что выправить ей штукатуркой невозможно. Затѣмъ при кладкѣ сводовъ довольно, конечно, естественно, каменщики стремятся класть ихъ въ елку, что также имѣетъ своимъ началомъ неправильность поверхности свода, легко обнаруживающуюся при сферической кладкѣ.

При парусныхъ сводахъ чрезвычайно важное значение имѣетъ правильное приготовленіе пяты, особенно если своды опираются не только въ стѣны, но и въ

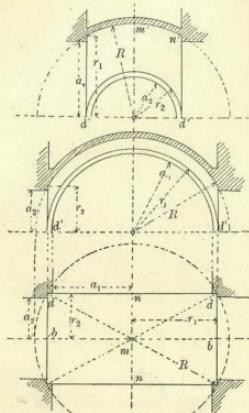


Рис. 285. Проектирование парусного свода на прямоугольномъ планѣ.

арки. Обыкновенно дѣлаютъ такъ, что пяты приготавливаютъ только для парусовъ, а для остальныхъ частей выбираютъ (вынимаютъ) кирпичъ изъ кладки стѣнъ и арокъ, и только отчасти, слѣдовательно, свя-

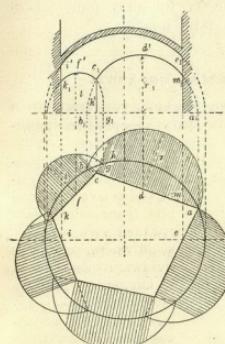


Рис. 286. Проектирование парусного свода на произвольномъ планѣ.

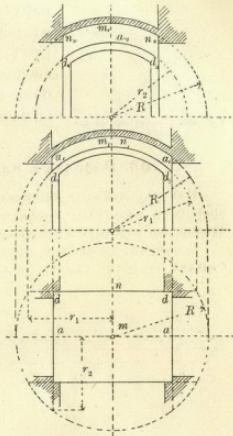


Рис. 287. Проектирование пологого парусного свода.

зываютъ сводъ стъ опорами. Это не только неестественно, но и безусловно непрактично и нерационально, такъ какъ арка отъ сопряженія сильно портится, да и самая перевязь имѣетъ фиктивное значение. Въ виду этого, если парусный сводъ не кладется одновременно съ опорами (со стѣнами и арками), необходимо при кладкѣ пять установить и опалубить кружала и только такимъ способомъ будетъ возможно пригото- вить надлежащія пяты для парусныхъ сводовъ, имѣющихъ общий видъ, показанный на рисункѣ 288.

Это, впрочемъ, относится и къ вспарашеннымъ

крестовымъ сводамъ, а также къ бочарнымъ, какъ увидимъ дальше.

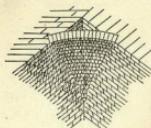


Рис. 288. Кладка паруса парусного свода.

Подобно купольнымъ сводамъ, парусные могутъ быть открытыми въ вершинѣ и оканчиваться фонарьемъ; кладку маленькихъ парусныхъ сводовъ можно производить также безъ кружалъ, въ виду равновѣсія каждого кольца кладки.

83. Разсчетъ парусныхъ сводовъ.

Изъ изложенного явствуетъ, что расчетъ устойчивости и прочности парусного свода долженъ быть совершенно тождественнымъ расчету купольного.

Возьмемъ численный примеръ. Пусть будетъ дано разсчитать парусный сводъ, показанный на рис. 289 и перекрывающій квадратное пространство; радиусъ средней дуги, образующій сводъ, равенъ 10 футамъ; толщина свода 1 кирпичъ. Дѣлимъ сводъ на 16 элементарныхъ арокъ или вырезковъ по 4 въ каждой четверти. Разсмотримъ наибольшій изъ нихъ, а именно первый (1). Для этого дѣлимъ въ разрѣзѣ элементарную арку на клинья числомъ 4, причемъ нижняя часть до угла 30° будетъ состоять изъ горизонтальной кладки. Для определенія относительного вѣса клиньевъ имѣемъ высоту средней дуги и ея элементовъ, которымъ и переносимъ на планъ

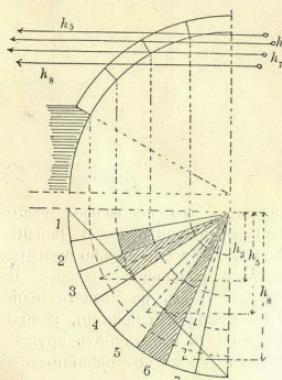


Рис. 289. Разсчетъ парусного свода.

силъ. Затѣмъ опредѣляемъ центры тяжести клиньевъ и переносимъ ихъ на среднюю дугу разрѣза. Получивъ эти точки, проводимъ въ предѣлахъ средней трети толщины свода линію давлений совершенно такъ же, какъ это мы дѣлали при рассчетѣ купольного свода (§ 82). Получивъ линію давлений для 1-ой элементарной арки, опредѣляемъ точно также распоры и линію давлений въ остальныхъ.

Весьма важно затѣмъ опредѣлить величину всего распора, дѣйствующаго на четыреугла, если сводъ опирается на арки и стѣбы. Для этого въ планѣ и разрѣзѣ складываемъ всѣ распоры или равнодѣйствующія четверти свода съ помощью многоугольника силъ и веревочнаго.

При отверстіи въ верху и нагрузкѣ фонаремъ необходимо весъ груза распределить по колычу (горизонтальной пересычкѣ) равномѣрно, причемъ только первый клинъ вырѣзки будетъ нагруженнымъ; опредѣление же распора, а слѣдовательно и расчетъ такого свода остается прежнимъ.

Поверхность полного парусного свода получится такъ: поверхность сегмента

$$S = 2\pi R \cdot h,$$

гдѣ

$$h = R \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = 0,3 R;$$

поэтому

$$S = 2\pi R \times 0,3 R = 1,888 R^2.$$

Поверхность шара равна:

$$4\pi R^2 = 12,566 R^2.$$

А потому поверхность парусного свода равна:

$$\frac{12,566 R^2 - 4 \times 1,888 R^2}{2} = 2,5 R^2.$$

VII. Бочарные своды.

84. Проектирование бочарныхъ сводовъ.

Бочарный сводъ представляетъ собою поверхность двоякой кривизны; похожій въ общемъ на парусный сводъ, бочарный отличается отъ послѣдняго слѣдующими характерными особенностями: 1) парусный сводъ

есть поверхность тѣла вращенія вокругъ вертикальной оси, а слѣдовательно, всѣ вертикальныя сѣченія (меридиональныя) будутъ одинаковой кривизны; въ бочарномъ же сводѣ всѣ сѣченія разны, такъ какъ бочарный сводъ представляетъ поверхность тѣла вращенія вокругъ горизонтальной оси;

2) бочарный сводъ можетъ быть и не поверхностью тѣла вращенія, а поступательного движенія.

Чтобы начертить бочарный сводъ, перекрывающій какое либо пространство, чертимъ три дуги, означающія: одна—верхнюю линію свода, другая—нижнюю линію свода и третья—пересеченіе задней стѣны со сводомъ (рис. 290).

Такимъ образомъ кривыя одного сѣченія совершенно

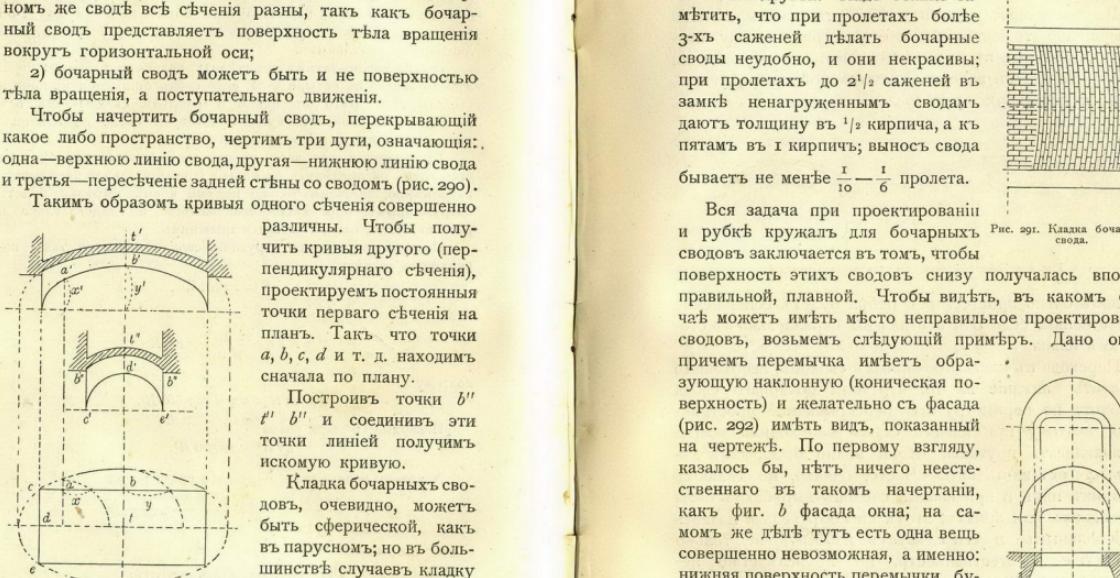
различны. Чтобы получить кривыя другого (перпендикулярнаго сѣченія), проектируемъ постоянныя точки первого сѣченія на планѣ. Такъ что точки a, b, c, d и т. д. находимъ сначала по плану.

Построивъ точки b' , t' , b'' и соединивъ эти точки линіей получимъ искомую кривую.

Кладка бочарныхъ сводовъ, очевидно, можетъ быть сферической, какъ въ парусномъ; но въ большинствѣ случаевъ кладку производятъ въ елку; при большихъ размѣрахъ сводовъ, кромѣ того, необходимо вести кладку такъ, чтобы не получалось длиннаго шва, т. е. изъ угловъ ведутъ лоткомъ, а въ срединѣ коробомъ (рис. 291).

Бочарные своды могутъ перекрывать не только

Рис. 290. Проектирование бочарного свода при поверхности вращенія



прямоугольное, но и многоугольное пространство и при томъ не только при правильной фигуруѣ плана, но и всякой другой. Надо только замѣтить, что при пролетахъ болѣе 3-хъ саженей дѣлать бочарные своды неудобно, и они некрасивы; при пролетахъ до $2\frac{1}{2}$ саженей въ замкѣ ненагруженными сводамъ даютъ толщину въ $\frac{1}{2}$ кирпича, а къ пятамъ въ 1 кирпич; выносъ свода бываетъ не менѣе $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{6}$ пролета.

Вся задача при проектированіи и рубки кружалъ для бочарныхъ сводовъ заключается въ томъ, чтобы поверхность этихъ сводовъ снизу получалась вполнѣ правильной, плавной. Чтобы видѣть, въ какомъ случаѣ можетъ имѣть мѣсто неправильное проектирование сводовъ, возьмемъ слѣдующій примѣръ. Дано окно, причемъ перемычка имѣть образующую наклонную (коническую поверхность) и желательно сть фасада (рис. 292) имѣть видъ, показанный на чертежѣ. По первому взглѣду, казалось бы, нѣтъ ничего неестественного въ такомъ начертаніи, какъ фиг. *b* фасада окна; на самомъ же дѣлѣ тутъ есть одна вещь совершенно невозможная, а именно: нижня поверхность перемычки, будучи плоской, не можетъ по формѣ служить направляющей кривой для той же образующей, какъ полуокружность внутренней направляющей, а потому въ натурѣ такая поверхность невозможна. Вѣрное проектированіе дано на фиг. *a*.

Такимъ образомъ при проектированіи сводовъ не-

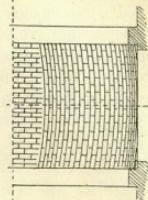


Рис. 291. Кладка бочарного свода.

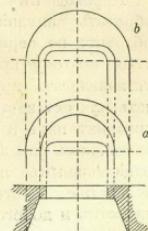


Рис. 292. Возможная и невозможная кривыя поверхности.

обходило имѣть въ виду, главнымъ образомъ, образующую кривую и направляющую, а также совершается ли вращеніе или поступательное движение.

Въ послѣднемъ случаѣ всѣ вертикальныя сѣченія совершенно тожественны, т. е. разстояніе между нижней линіей свода въ шельѣ и линіей на пересеченіи со стѣной будетъ величиной постоянной, напр., будетъ равно x (рис. 293); приготовленіе кружалъ для такихъ

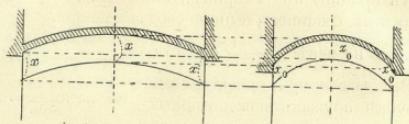


Рис. 293. Бочарный сводъ поступательного движения.

сводовъ очень простое: всѣ ребра будутъ совершиенно тожественны, если они поставлены параллельно къ сторонамъ плана.

Переходя къ кладкѣ бочарныхъ сводовъ, необходимо обратить вниманіе на то, что пята бочарного свода обходится по периметру все перекрываемое пространство; поэтому при кладкѣ стѣнъ необходимо всегда устанавливать кружала, чтобы видно было, какъ дѣлать или оставлять пяты. Часто, однако, не дѣлаютъ никакихъ пяты и при кладкѣ сводовъ вырубаютъ пяты въ стѣнахъ или аркахъ; этотъ способъ нельзя называть рациональнымъ, и его слѣдуетъ избѣгать не только вслѣдствіе неестественности, но и вслѣдствіе неудобствъ и дороговизны, на первый взглядъ и незамѣчаемыхъ.

85. Рассчетъ бочарныхъ сводовъ.

Рассчетъ бочарныхъ сводовъ слѣдуетъ признать довольно сложнымъ, если не неопределеннymъ. Дѣло въ томъ, что распоръ, развиваемый этими сводомъ, пере-

ходитъ на всѣ четыре опоры, а вмѣстѣ съ распоромъ переходитъ и часть груза.

Рассчитывать бочарные своды, какъ парусные, неосновательно, что видно изъ слѣдующаго факта: парусный сводъ, перекрывающій сильно продолговатое пространство, передаетъ главный грузъ на короткія стороны; бочарный же сводъ, наоборотъ, на длинныя. Вмѣстѣ съ тѣмъ разсчитывать бочарный сводъ, какъ коробчатый, тоже не совсѣмъ правильно. Такимъ образомъ бочарный сводъ представляетъ по отношенію къ разсчету совершенно самостоятельный типъ.

Пусть имѣмъ некоторое тѣло A , подверженное дѣйствию силы Q , различно наклоненное къ двумъ плоскостямъ MN и NT (рис. 294). Очевидно, давленія на эти плоскости различны и пропорциональны угламъ; точно также величина грузовъ будетъ различно переходить на наклонныя опоры, а именно: пропорционально синусамъ угловъ, образуемыхъ горизонтальной линіей и нормально къ этимъ плоскостямъ, т. е., если назначимъ весь грузъ черезъ Q , то $P_1 + P_2 = Q$, и, кроме того,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2};$$

отсюда

$$P_1 = \frac{\sin \alpha_1 \cdot P_2}{\sin \alpha_2}$$

и

$$P_1 = Q - P_2,$$

или

$$Q - P_2 = \frac{\sin \alpha_1 \cdot P_2}{\sin \alpha_2},$$

или

$$Q \sin \alpha_2 - P_2 \sin \alpha_2 = \sin \alpha_1 P_2,$$

или

$$P_2 (\sin \alpha_2 + \sin \alpha_1) = Q \sin \alpha_2,$$

откуда:

$$P_2 = \frac{\sin \alpha_2 \times Q}{\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}$$

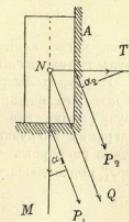


Рис. 294. Распределение двухъ усилий въ плоскостяхъ.

и

$$P_1 = \frac{\sin \alpha_1 \times Q}{\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}.$$

Когда одна изъ плоскостей будеть подъ угломъ $\alpha_1 = 0$, то

$$P_2 = \frac{\sin \alpha_2 Q}{\sin \alpha_2} = Q,$$

т. е. сила P_2 равна цѣлому грузу. Это имѣть мѣсто при коробчатыхъ, крестовыхъ, купольныхъ и т. д. сводахъ, имѣющихъ вертикальныя щековыя поверхности.

Когда

$$\alpha_1 = \alpha_2,$$

то

$$P_2 = P_1 = \frac{\sin \alpha Q}{2 \sin \alpha} = \frac{Q}{2},$$

т. е., когда клинь наклоненъ одинаково на обѣ стороны, то грузъ переходитъ на каждую плоскость поровну.

Итакъ, чтобы разсчитать бочарный сводъ, мы должны раздѣлить его на арки; определить по предыдущему величину груза клина для данного сѣченія свода, построить затѣмъ диаграмму нагрузки, опредѣлить наибольшій распоръ и т. д. Сумма распоровъ ряда арокъ дастъ намъ величину всего распора, переходящаго на ту или другую опору.

VIII. Звѣздчатые своды и смѣшанные вообще.

86. Звѣздчатые своды.

Въ готическомъ стилѣ встрѣчается цѣлый рядъ сводовъ очень разнообразныхъ видовъ; таковы своды: звѣздчатые, вѣрные, сѣччатые и др. Всѣ эти своды не представляются въ конструктивномъ отношеніи особыхъ типовъ, а состоятъ изъ разныхъ частей вышеприведенныхъ сводовъ и арокъ, такъ что по разсчету устойчивости и прочности они принадлежатъ то къ категоріи коробчатыхъ сводовъ, то къ категоріи кре-

стовыхъ или сомкнутыхъ, или, наконецъ, купольныхъ и парусныхъ.

Наиболѣе распространеннымъ типомъ готическихъ сводовъ являются своды звѣздчатые. На рисункѣ 295 приведенъ одинъ видъ такого свода, изъ котораго видно, что сводъ этотъ можно рассматривать, какъ парусно-сомкнутый съ распалубками; а на рисункѣ 296 представленъ другой видъ звѣздчатого свода, состоящаго какъ бы изъ четырехъ паръ распалубокъ. Тотъ и другой видъ, не смотря на разницу составныхъ частей, въ общемъ очень похожи, потому что лотки распалубки можно рассматривать, какъ лотки сомкнутаго свода.

Такъ какъ распалубки могутъ имѣть очень разнобразную форму и величину, то, очевидно, звѣздчатые своды могутъ перекрывать разнаго вида прямоугольные и многоугольные планы. При проектированіи звѣздчатыхъ сводовъ дается планъ реберъ и фасады распалубокъ.

Построеніе реберъ можно получить такъ (рис. 297): описываемъ изъ произвольного центра S дугу, проходящую черезъ точку A . Полученная дуга будетъ служить не только нижней линіей распалубки, но будетъ служить и для получения другихъ точекъ разрѣза. Возьмемъ, напр., точку a на планѣ, и пусть требуется найти мѣсто ея на разрѣзѣ. Изъ точки G описываемъ дугу черезъ точку a ; получимъ точку a'_0 ; проектируемъ эту точку на описанную изъ точки S дугу; получимъ тамъ

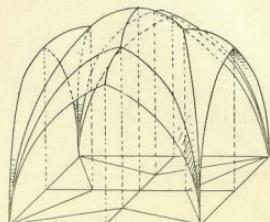


Рис. 295. Общий видъ звѣздчатаго свода.

точку a' ; эту послѣднюю проектируемъ на вертикальную линію, проходящую черезъ точку a ; получимъ

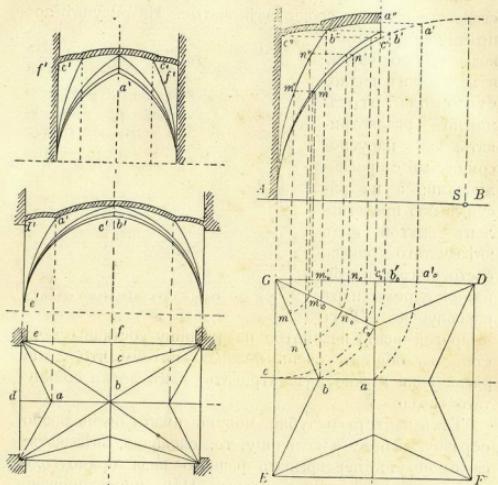


Рис. 296. Разрѣзъ и планъ звѣздчатаго свода.

Рис. 297. Проектирование звѣздчатыхъ сводовъ.

точку a'' , которая и есть искомая вершина свода. Точно такъ же, чтобы найти мѣсто точки m на разрѣзѣ (точка m будетъ на планѣ произвольна), описываемъ изъ точки G дугу, проходящую черезъ m ; получимъ m' ; проектируя m' на ту же дугу, описанную изъ S , получимъ точку m ; эту послѣднюю проектируемъ на вертикальную линію, проходящую черезъ точку m ; тогда получимъ точку m'' , которая и есть искомая.

Такимъ образомъ получимъ цѣлый рядъ точекъ;

соединяя соотвѣтственныя точки одного ребра (въ планѣ), напр., b'', m'', n'', n'' , получимъ линію ребра въ разрѣзѣ.

Произвольной является въ разрѣзѣ иногда вспарушенность распалубки.

Что касается до кладки звѣздчатыхъ сводовъ, то таковая прямо зависитъ отъ частей свода: такъ сомкнутой части можно класть въ елку; распалубки—какъ обыкновенные крестовые своды и т. д. Во всякомъ случаѣ слѣдуетъ ребра класть отдельно отъ заполнений, какъ въ реберныхъ крестовыхъ сводахъ; тогда и разсчетъ значительно упростится. Во всякомъ случаѣ онъ будетъ въ частностяхъ отвѣтъ расчету того или другого вида простого свода, смотря по тому, какая часть разсчитывается.

87. Сѣтчатые своды.

Сѣтчатые своды представляютъ въ общей массѣ обыкновенный коробчатый сводъ съ распалубками, но снабженный, кромѣ того, выступающими книзу гуртами и ребрами. Такимъ образомъ, сѣтчатый сводъ необхо-

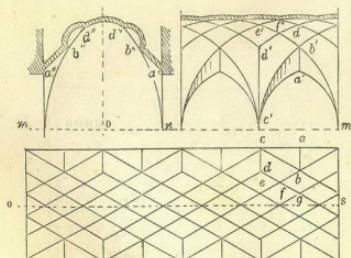


Рис. 298. Проектирование сѣтчатыхъ сводовъ.

димо рассматривать, какъ рядъ перекрещивающихся арокъ, у которыхъ заполненія являются мертвой нагрузкой.

Расчетъ такого свода производить, какъ разсчетъ обыкновенныхъ арокъ, не обращая вниманія на то, что гурты идутъ не параллельно другъ къ другу, а наклонно; для разсчета надо брать элементы арки параллельно щековому ихъ сѣченію. Что касается проектированій сѣтчатыхъ сводовъ, то оно видно на рисункѣ 298 и не требуетъ особыхъ поясненій. Кладка этого свода зависитъ отъ формы составныхъ частей свода.

88. Вѣерные своды.

Вѣерные своды представляютъ своеобразный видъ готическихъ сводовъ, причемъ весь сводъ можно разсматривать какъ бы изъ двухъ частей: изъ парусовъ или угловыхъ перекрытий и изъ горизонтального или выпуклого перекрытия пространства между парусами. Отличие парусовъ вѣерного свода отъ обыкновенныхъ заключается въ томъ, что центръ вращенія поверхно-

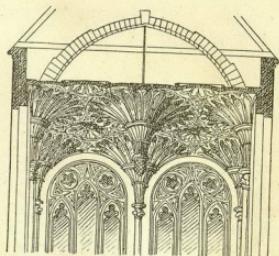


Рис. 299. Общий видъ обработки вѣерныхъ сводовъ.

сти паруса находится не на оси перекрываемаго пространства, а на оси столба или стѣны. Кладка парусовъ сферическая, а остальная—смотря по обстоятельствамъ.

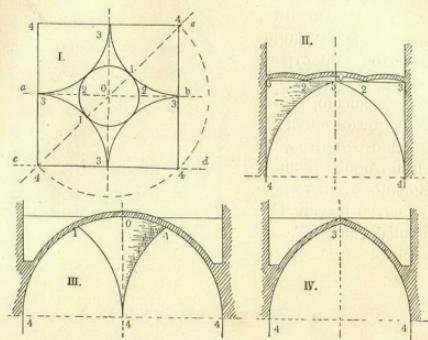


Рис. 300. Планъ и разрѣзы вѣерного свода.

Вѣерные своды могутъ быть сделаны подвѣсными, причемъ арка, къ которой подвѣшивается вѣрь, будеть скрыта на чердакѣ (рис. 301).

Что касается проектированій этихъ сводовъ, то оно видно на чертежѣ (рис. 302), где даны: поперечный разрѣзъ черезъ ось и черезъ столбъ, диагональный разрѣзъ и часть плана.

Перспективный видъ свода сверху показанъ на рисункѣ 303.

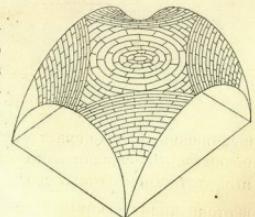


Рис. 303. Перспективный видъ вѣерного свода сверху.

89. Лотковые своды.

Эти своды всегда состоять изъ элементовъ сомкнутаго и коробчатаго. Для этого предположимъ, что дано перекрыть продолговатое пространство сомкнутымъ сводомъ; очевидно, если кривыя лотковъ будуть изъ одного центра, то съ нѣкоторой точки *a* возможно вести только коробчатую кладку. Полученный сводъ будетъ лотковымъ (рис. 302).

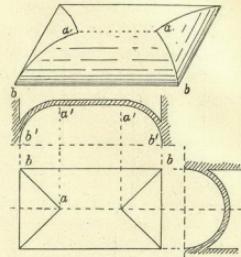


Рис. 302. Лотковый сводъ.

90. Зеркальные своды.

Зеркальный сводъ можно рассматривать, какъ полученный изъ лотковаго (рис. 303), у которого срѣзана верхушка, замѣненная очень плоскимъ коробчатымъ или бочарнымъ сводомъ. Зеркальные своды съ

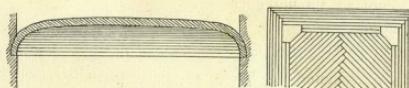


Рис. 303. Зеркальный сводъ.

совершенно плоской частью можно строить на пролетѣ не болѣе $1\frac{1}{2}$ сажени и притомъ ничѣмъ ненагруженные, хотя и при этомъ сводъ (зеркальная часть) имѣть въсегда кривую форму съ выносомъ не менѣе $\frac{1}{36}$ части пролета (меньшей стороны);—впадина свода выравни-

вается штукатуркой въ плоскую поверхность. Опоры при этихъ сводахъ должны быть по возможности сильно нагружены и забучены.

Бываетъ такъ, что оставляютъ зеркальную часть совершенно открытой и дѣлаютъ для верхняго свѣта стеклянное покрытие; въ этомъ случаѣ, очевидно, необходима желѣзная рама вокругъ свода, а еще лучше желѣзную раму, кромѣ того, подвѣсить къ желѣзнымъ балкамъ.

91. О материалахъ для кладки сводовъ.

Изъ изложенного выше вытекаетъ непосредственно, что для кладки сводовъ необходимо употреблять материалъ какъ можно легче, чтобы распоръ свода былъ по возможности меньше. Обыкновенно материаломъ свода служитъ кирпичъ. Но въсъ кирпичной кладки довольно значителенъ; 1 куб. футъ такой кладки вѣситъ 3 пуда.

Въ виду этого, для очень легкихъ сводовъ въ средніе вѣка употребляли вмѣсто кирпича гончарные (изъ обожженої глины) горшки; въсъ кладки изъ такихъ горшковъ былъ отъ 5 до 6 разъ легче кирпичной кладки. Въ настоящее время гончарные горшки рѣдко употребляются, такъ какъ обходятся дорого; во всякомъ случаѣ примѣненіе ихъ весьма удобно и рационально.

Въ послѣднее время стали замѣнять толстые кирпичные своды легкими бетонными; эта замѣна при небольшихъ пролетахъ выгодна, такъ какъ устойчивость ихъ достаточна; но при большихъ пролетахъ не всегда будетъ рационально применять бетонные своды, такъ какъ вѣсъ бетонной кладки больше вѣса кирпичной.

Вмѣсто сплошной бетонной массы можно дѣлать бетонные горшки; удобство послѣднихъ заключается въ томъ, что ихъ можно приготовлять на самой постройкѣ, набивая деревянныя формы суховатымъ це-

ментнымъ растворомъ; послѣднее необходимо для того, чтобы цементъ не прилипалъ къ формѣ; пропорцію раствора для горшковъ можно принять слѣдующую: на одну часть цемента дѣлъ части песку (чистаго, мелкаго).

Сводъ изъ бетонныхъ горшковъ, между прочимъ, устроенъ надъ главнымъ заломъ зданія Публичной Библиотеки; пролѣтъ зала около 8 саженей; горшки имѣютъ снаружи форму прямоугольника (дѣлъ стороны, впрочемъ, идутъ по радиусу кривизны); пустое пространство имѣеть овальное сѣченіе. Толщина стѣнокъ $\frac{3}{4}$ дюйма; высота горшковъ различна, увеличиваясь къ пятамъ свода. Горшки сложены такъ, что отверстіями они обращены кверху *).

Работа по кладкѣ такого свода требуетъ большой тщательности и производится на цементномъ растворѣ.

Что касается вообще растворовъ, употребляемыхъ при кладкѣ сводовъ, то нѣтъ сомнѣнія, что цементный растворъ всегда будетъ предпочтительнѣе не только потому, что онъ крѣпче связывается съ камнями, но и потому, что онъ быстрѣе крѣпнетъ и меньше подверженъ измѣненіямъ, влекущимъ за собою осадку свода и неопределенное распределеніе усилий. Кромѣ того, при кладкѣ пять, гдѣ теска не можетъ быть очень тщательно сдѣлана, значительное количество мягкаго раствора можетъ дать возможность скользженію; вотъ почему слѣдовало бы вѣсъ пяты, особенно, если для уничтоженія распора закладывается связь, вести на цементномъ растворѣ. Наконецъ, на цементномъ растворѣ слѣдовало бы вести всегда паруса и своды колыца, гдѣ усилия часто дѣйствуютъ не на постель, а на ребро камня или кирпича.

Въ послѣднее время у насъ стали дѣлать своды изъ опилочного кирпича, вѣсъ котораго значительно меньше

*) Б. К. Правдикъ: „Разсчетъ и устройство сводчатаго покрытия изъ полыхъ бетонныхъ камней“.—1899 г.

вѣса обыкновеннаго. Хорошая кладка изъ опилочного кирпича на цементномъ растворѣ вѣсить при одномъ кубическомъ футѣ 2 пуда, тогда какъ изъ обыкновенного кирпича 3 пуда. Сопротивленіе опилочного кирпича много меньше сопротивленія обыкновенного кирпича и не превосходитъ въ кладкѣ $1\frac{1}{2}$ пуда на одинъ квадратный дюймъ. Но если мы обратимъ внимание на то, что въ сводахъ напряженіе материала не велико, то увидимъ, что опилочный кирпич слѣдуетъ считать вполнѣ рациональнымъ для этой цѣли. Приводимъ таблицу, показывающую вѣсъ, распоръ и наибольшее напряженіе материала при толщинѣ свода въ 1 кирпичъ и вѣсѣ кубического фута кладки въ 2 пуда.

Полукруглые купольные своды толщиной въ 1 кирпичъ
при вѣсѣ кубического фута кладки въ 2 пуда.

Внутренний диаметръ въ футахъ.	Приблизительный вѣсъ свода въ пу- дахъ.	Приблизительное наибольшее на- пряженіе мате- риала въ пудахъ на 1 кв. дюймъ.	Приблизительный распоръ свода по окружности, учиты- вающий трение кладки.
8	120	0,12	70
12	180	0,18	110
16	300	0,24	260
20	700	0,30	400
24	920	0,36	540
28	1230	0,42	740
32	1480	0,48	940
36	1960	0,54	1180
40	2430	0,60	1460
44	2960	0,66	1640
48	3460	0,72	2070
52	4050	0,78	2440
56	4700	0,83	2820
60	5420	0,88	3260
64	6180	0,93	3710
68	7000	0,97	4260
72	7500	1,00	4760

Такимъ образомъ при толщинѣ свода въ 1 кирпичъ напряженіе материала даже для свода диаметромъ въ 10 са-

женей будетъ менѣе одного пуда на 1 квадратный дюймъ.

Это показываетъ возможность примѣнять опилочный кирпичъ для сводовъ даже очень большихъ, еслитолиця свода будетъ соответственно измѣняема.

Въ такихъ же благопріятныхъ условіяхъ относительно напряженія материала будутъ находиться своды сомкнутые, парусные и бочарные. Арки, коробчатые и крестовые своды этимъ достоинствомъ не обладаютъ, такъ какъ не уширяются къ пятамъ, а остаются постоянной шириной; даже уменьшается иногда ширина эта къ пятамъ, какъ это бываетъ въ крестовыхъ и парусно-сомкнутыхъ сводахъ.

Такимъ же рациональнымъ материаломъ для кладки сводовъ, какимъ является опилочный кирпичъ, можно считать известковый туфъ, материалъ весьма пористый и легкий. Кроме легкости, эти материалы отличаются темъ, что превосходно связываются съ растворомъ, и следовательно, образуютъ въ кладкѣ почти монолитную массу.

92. Шпили и башни.

Къ сводчатымъ покрытиямъ слѣдуетъ отнести еще кладку каменныхъ шпилей или башень.

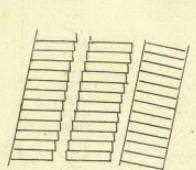


Рис. 314. Кладка стѣнъ шпилей и башенъ: а) кладка горизонтальными рядами съ гладкой наружной поверхностью; б) же съ уступами съ той и другой стороны; в) кладка перпендикулярная къ поверхности шпилия.

Кладка шпилей можетъ быть произведена двоякимъ образомъ, а именно: горизонтальными рядами и наклонно или перпендикулярно къ наклону стороны шпилия. Въ первомъ случаѣ кирпичи будуть имѣть уступы какъ внутри, такъ и снаружи (рис. 314). Но чтобы вода свободно стекала съ наружной поверхности такого шпилия, нужно, чтобы уступы были стесаны подъ

гладкую поверхность. Если шпиль не будетъ оштукатуренъ или не будетъ покрытъ желѣзомъ или мѣдью, то теску кирпича слѣдуетъ считать весьма нерациональной, такъ какъ тесанный кирпичъ чрезвычайно быстро выѣтывается, особенно на большой высотѣ отъ земли, где болѣе часты вѣтры и осадки дѣйствуютъ съ большей силой. Поэтому лучше кирпичъ для такихъ шпилей приготавлять лекальнъ. Второй способъ кладки (наклонными рядами), также имѣетъ свои недостатки, такъ какъ вода останавливается противъ швовъ, проникаетъ въ эти швы и способствуетъ болѣе быстрому разрушению кирпича. Поэтому такую кладку примѣняютъ при покрытии шпилия кровлей или при кладкѣ кирпича на цементномъ растворѣ.

Чтобы на углу многогранной формы шпилия не получалось сплошного шва по ребру шпилия, нужно приготавливать кирпичи съ особыми придатками въ разныхъ плоскостяхъ (рис. 315). Это также представляетъ недостатокъ кладки наклонными рядами. При горизонтальныхъ рядахъ это обстоятельство не имѣть мѣста, такъ какъ кирпичи перевязываются на углу совершенно такъ же, какъ въ обыкновенныхъ стѣнахъ съ тупыми углами (316).

Что касается толщины стѣнокъ шпилия, то при восьмигранной и круглой (конической) форме его толщину дѣлаютъ не менѣе $\frac{1}{16}$ и не болѣе $\frac{1}{4}$ части пролета.

Верхний конецъ шпилия представляетъ сплошную кладку съ задѣланіемъ въ нее штыремъ для прикрепленія креста, флюгарки и другого какого-либо украшенія (рис. 317).

Длина задѣлки штыря должна быть такъ разсчитана, чтобы при дѣйствии самаго сильного вѣтра кладка шпилия,



Рис. 315. Установка кирпича при кладкѣ разъемной перпендикулярной къ скату шпилия.

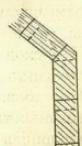


Рис. 316. Кладка угла, когда ряды идутъ горизонтально.

захватываемая штыремъ, была въ состояніи удержать верхня части отъ опрокидыванія. Въ виду этого не-рѣдко болтъ или штырь приходится задѣлывать ниже сплошной кладки шпиля и тогда конецъ штыря пріѣплюютъ къ желѣзной балкѣ, задѣланной въ кладку

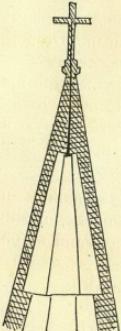


Рис. 317. Кладка стѣнокъ шпиля съ укрѣпленіемъ въ нихъ штыря для креста.

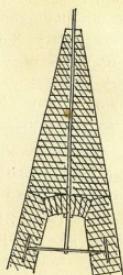


Рис. 318. Кладка стѣнокъ шпиля съ массивной верхней части съ задѣлкой штыря ниже этой кладки.

стѣнъ на необходимой высотѣ. Если сплошная кладка шпиля начинается настолько низко, что она не можетъ быть устроена на концахъ выпускаемыхъ кирпичей, то подъ нею устраивается перемычка. Полезно ниже перемычки проложить связь для уничтоженія распора (рис. 318).

Переходя къ вопросу объ устойчивости шпилей, необходимо обратить внимание на то, что устойчивость здѣсь должна быть опредѣлена двоякаго характера: устойчивость относительно распора, развиваемаго стѣнами шпиля и устойчивость относительно вѣтра цѣлаго шпиля.

Устойчивость относительно вѣтра повѣряется совер-

шенно такъ же, какъ устойчивость свободно стоящихъ стѣнъ и фабричныхъ трубъ (Ч. VII).

Устойчивость относительно распора повѣряется, какъ устойчивость сводовъ. Но здѣсь мы наталкиваемся на одно весьма характерное обстоятельство, а именно, на то обстоятельство, что въ шпиляхъ нѣтъ замка, слѣдовательно, точку приложенія распора шпилей слѣдуетъ искать на разныхъ горизонтальныхъ сѣченіяхъ на подобіе того, какъ мы находили распоры колецъ купольного свода. Отсюда прямо вытекаетъ, что двѣ противоположныя стѣнки шпиля не будуть въ равновѣсіи и для послѣдней цѣли шпиль долженъ быть многогранный или сомкнутый, т. е. шпиль долженъ быть или въ видѣ конуса или пирамиды.

Такимъ образомъ, чтобы разсчитать устойчивость и прочность шпилей дѣлимъ его меридиональными плоскостями на отдельные вырѣзки и каждый вырѣзокъ на элементы. Затѣмъ, найдя центры тяжести элементовъ въ планѣ, подобно тому, какъ это мы дѣлали въ сомнутыхъ и купольныхъ сводахъ, опредѣляемъ колышевые распоры, строимъ линію давленія и опредѣляемъ устойчивость и прочность стѣнокъ шпиля. Если опоры, поддерживающія шпиль будутъ недостаточно толсты, то распоръ надо уничтожить связью. Но опыты показали, что въ большинствѣ шпилей имѣются стѣны, уклонъ которыхъ болѣе 60° къ горизонту, а слѣдовательно, распоръ такихъ вдвое менѣе вѣса; если сопоставимъ это со сказаннымъ въ § 79 стр. 220, то увидимъ, что распоръ шпилей уничтожается треніемъ камней при правильной перевязи; съ этой цѣлью всѣ шпили должны быть многогранной или круглой формы. Такимъ свойствомъ каменной кладки уничтожать распоры или горизонтальную силы треніемъ объясняется устойчивость многихъ сооружений, весьма смѣлыхъ по идеѣ и конструкціи. Если бы указанной связывающей силы между отдельными камнями не существовало, то устойчивость многихъ сохранившихся построекъ была бы необъяс-

нимой и намъ приходилось бы сильно ограничивать свою фантазию при создании новыхъ образцовъ архитектурного искусства.

93. Исторический очеркъ развитія сводчатыхъ перекрытий.

Колыбелью сводчатыхъ покрытий, какъ показали археологическія изслѣдованія, слѣдуетъ считать древнюю Халдею или Ассирию. До настоящаго времени сохранились коробчатые своды этой страны, возведенные за нѣсколько тысячелѣтій до Р. Х.

Естественную причину появленія здѣсь сводчатыхъ покрытий слѣдуетъ искать въ отсутствіи дерева и массивныхъ каменныхъ породъ. Имѣющійся на мѣстѣ каменный материалъ представляеть изъ себя мелкій плитникъ, весьма удобный для кладки арокъ, идея которыхъ заключается въ томъ, что устойчивость будетъ существовать только тогда, когда будеъ положенъ послѣдній или замочій камень, а чтобы положить его, слѣдовало раньше этого придумать кружала. Можеть быть идеей для устройства сводовъ послужило и то обстоятельство, что на высокихъ набережныхъ можно было вырывать изъ землѣ пещеры, сводообразно выравнѣвъ землю. Какъ бы то ни было, но въ настоящее время можно утверждительно сказать что идея сводчатыхъ покрытий раньше всего была примѣнена въ Халдѣ.

Несмотря на раннюю и высокую культуру Индіи, Египта, Греціи, въ нихъ идея сводовъ осталась неизвѣстной; всѣ перекрытия дѣлались архитравны изъ большихъ монолитныхъ кусковъ камня, который въ изобилии встречается въ этихъ странахъ. Между тѣмъ необходимость въ возведеніи большихъ сооружений изъ небольшихъ кусковъ все таки и здѣсь существовала, но решить правильно вопросъ этимъ народамъ не удалось. Такъ въ Греціи сохранилась знаменитая сокровищница Атрія. По первому взгляду это круглое со-

оруженіе въ планѣ, перекрытое какъ бы купольнымъ сводомъ (рис. 319). При ближайшемъ же изслѣдованіи оказывается, что камни сложены горизонтальными рядами и форма конусообразная получилась потому, что при болѣе значительномъ свѣшиваніи камня, послѣдній при кладкѣ не сохранилъ бы равновѣсія.

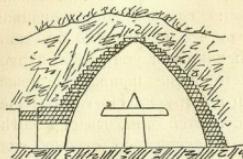


Рис. 319. Кладка купольного перекрытия горизонтальными рядами въ сокровищнице Атрія.

Такимъ образомъ производила кладку напускомъ камня, строители сокровищницы Атрія старались кладти камни такъ, чтобы все врема камни были въ равновѣсіи, такъ какъ идея замка въ сводѣ и идея кружала не была имъ извѣстна.

Такую же конструкцію горизонтальными рядами кладки встрѣчаемъ мы въ пагодахъ Индіи, въ такъ называемыхъ чертовыхъ могилахъ Сибири и т. д.

Нельзя, однако, сказать, чтобы въ Греціи и Египтѣ мы вовсе не встрѣчали никакого намека на сводчатыя покрытия. На островѣ Делосѣ, а также въ Бенигассан-

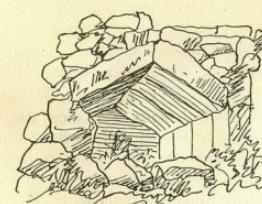


Рис. 320. Перекрытие изъ двухъ рядовъ камней, поставленныхъ наклонно, въ развалинахъ на островѣ Делосѣ.

скихъ гротахъ мы встрѣчаемъ какъ бы зачатки перекрытий, причемъ эти зачатки представляютъ собою перекрытие большого пространства не одинъ камнемъ, а двумя, поставленными наклонно и упирающими другъ на друга (рис. 320). Очевидно, что дальнѣйшее примѣненіе этого способа покрытия могло навести строителей

на истинный путь; но ни египтянамъ, ни грекамъ не сужено было этого осуществить. Съ завоеваниями римлянъ проникла въ эти страны правильная идея сводчатыхъ покрытій, но едва ли заимствованная изъ Халдеи. Дѣло въ томъ, что независимо отъ халдеевъ идею сводчатыхъ перекрытий уразумѣли этруски. По крайней мѣрѣ, исторія не нашла еще связи между постройками Халдеи и Этрурии. Но географическое изученіе обѣихъ мѣстностей показываетъ замѣчательное сходство страны этрусковъ со страной халдеевъ: какъ здѣсь, такъ и тамъ недостатокъ въ деревѣ и камнѣ въ монолитныхъ массахъ и изобилие мелкаго постелистаго камня, весьма удобного для кладки сводовъ.

Отъ этрусковъ скорѣе всего могла перейти идея арокъ къ римлянамъ, которые воспользовались ею съ удивительнымъ искусствомъ. Многія римскія постройки самаго древнаго времени сохранились замѣчательно хорошо до сихъ поръ и свидѣтельствуютъ о грандиозности римскихъ сводовъ и арокъ. Завоевавъ почти половину извѣстнаго тогда мѣра, римляне перенесли во всѣ страны свое искусство. Тѣмъ не менѣе не римлянамъ было суждено достигнуть въ кладкѣ сводовъ высшей точки развитія. Послѣднѣе принадлежитъ Византии. Постройку церкви св. Софіи въ Константинополѣ (рис. 321) надо признать величайшимъ шедевромъ строительного искусства въ этомъ отношеніи. Дѣйствительно, изучая детально конструкцію сводовъ этого сооруженія, невольно удивляешься той смѣлости и ловкости, съ какою устроены здѣсь паруса, купольные и парусные своды *). Несмотря на четырнадцать вѣковъ существованія (начать въ 526 году и окончень въ 547 году), на всѣ невзгоды политическія и военные, на землетрясенія и прочее, церковь эта сохранилась до сего времени во всей красотѣ своей конструкціи.

*) Choisy: „L'art de bâtrir chez les byzantins“—1870 г.

Къ этому надо прибавить, что куполь этой церкви самый большой въ мірѣ между всѣми другими куполами,

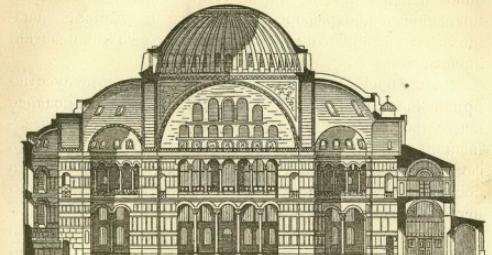


Рис. 321. Разрѣзъ церкви св. Софіи въ Константинополѣ, построеної въ 526—547 годахъ по Р. Х.

воздвигнутыми на парусахъ. Есть куполь и большаго диаметра, какъ, напримѣръ, куполь Пантеона; но онъ на кругломъ планѣ, безъ парусовъ и при томъ изъ бетона; куполь церкви св. Петра въ Римѣ по диаметру много больше купола св. Софіи, но онъ стоитъ на восьмиугольномъ планѣ съ туپыми парусами, имѣющими весьма малое конструктивное значеніе для равновѣсія сооруженія. Къ этому надо еще прибавить, что куполь св. Петра возведенъ на тысячу лѣтъ позже купола св. Софіи и по правильности кладки и пониманія идеи сводовъ далеко уступаетъ куполу св. Софіи; въ куполѣ св. Петра давно появились весьма опасныя трещины и устойчивость сохраняется лишь благодаря массѣ желѣзныхъ связей и колецъ, которыми нынѣ куполь этотъ укрѣпленъ.

Слѣдующая затѣмъ эпоха, имѣвшая большое влияніе на развиціе сводовъ—это эпоха готического стиля. Къ этой эпохѣ относится появленіе стрѣльчатыхъ сводовъ вообще и звѣздчатыхъ и вѣерныхъ въ частности.

Но эпоха готическая не столько важна для развития сводовъ, сколько для развития ясного пониманія устойчивости и прочности опоръ. Этой эпохѣ мы обязаны появлениемъ контрафорсныхъ арокъ и устоевъ, дающихъ готическимъ постройкамъ столъ смѣлый и легкій характеръ.

Въ то время, какъ на западѣ развивалось искусство романское и готическое, на востокѣ и югѣ развивалось искусство персовъ и мавровъ. Постройки народовъ западной Европы отличаются своюю холодностью въ формахъ и строгой разсудительностью въ деталяхъ; въ восточныхъ постройкахъ мы встрѣчаемъ чрезвычайно игривую фантазію при созданіи разныхъ чисто декоративныхъ формъ. На западѣ люди какъ будто создавали зданія по требуемой программѣ устойчивости и прочности; на востокѣ создавали лишь наружныя формы и къ этимъ формамъ подыскивали необходимаго вида конструкцій, совсѣмъ не сообразуясь съ тѣмъ, насколько та или другая часть зданія конструктивна.

Несмотря на такой различный характеръ въ возведеніи построекъ, какъ тѣ, такъ и другие должны были обладать большой опытностью, чтобы возводимое ими сооруженіе удовлетворяло своей цѣли и могло просуществовать многие вѣка.

Нѣтъ сомнѣнія, что возведеніе построекъ въ прежнее время требовало не мало времени, чтобы въ случаѣ какая-либо часть сооруженія обрушивалась, можно было вывести другую, болѣе соответствующую условіямъ устойчивости. Этимъ объясняется, что многое исторические памятники зодчества возводились десятки и сотни лѣтъ, и добытые опытомъ результаты хранились, какъ тайна.

Съ появлениемъ научного изслѣдованія обѣ устойчивости и прочности сводовъ выяснилось мало-по-малу существенные и побочные части всякой конструкціи. Сответственно этому стали дѣлать своды по своимъ размѣрамъ и формѣ отличающимися значительно отъ преж-

нихъ. Еще въ началѣ 19-го вѣка были выведены Рондле таблицы необходимой толщины сводовъ, и тогда уже стало яснымъ, что купольный сводъ собора св. Петра въ Римѣ надо признать весьма нерациональнымъ по его чрезмѣрной толщинѣ; сводъ этотъ могъ быть въ 2 раза тоньше, и это способствовало бы большей долговѣчности сооруженія.

Въ настоящее время съ примѣненіемъ желѣза и бетона постройка каменныхъ и кирпичныхъ сводовъ сократилась, такъ какъ явилась возможность замѣнить ихъ болѣе дешевыми плоскими перекрытиями. Только въ церковной архитектурѣ, а также въ монументальныхъ зданіяхъ вообще, своды остались наиболѣе важной конструктивной частью сооруженій. Казалось бы, что дальнѣйшему развитію сводовъ такимъ образомъ положенъ нѣкоторый предѣлъ. Но это не совсѣмъ такъ. Ни бетонъ, ни желѣзо никогда не могутъ конкурировать съ камнемъ или кирпичемъ въ долговѣчности и безопасности отъ огня, слѣдовательно, въ этомъ отношеніи каменные своды всегда будутъ имѣть преимущество. Съ другой стороны красота сводчатыхъ покрытий всегда будетъ господствовать надъ красотой плоскихъ перекрытий, какими бы орнаментами эти постройки не украшались. Но болѣе широкому распространенію коренныхъ сводовъ препятствуетъ до сихъ поръ необходимость дѣлать очень солидныя опоры, и вотъ въ стремленіи выясненія различныхъ обстоятельствъ устойчивости опоръ должна заключаться современная задача строителей. Исходя изъ этого стремленія, мы не разъ уже указывали на то, какое важное значеніе имѣть на устойчивость сооруженій сила тренія при правильной перекладинѣ камней; указывали насколько это треніе и ссыпаніе раствора вліяетъ на равномѣрное распределеніе давленія, а также какое важное значеніе имѣть проектированіе сооруженія такъ, чтобы оно представляло изъ себя одно скомкнутое, цѣлое. На это мы указываемъ и въ слѣдующемъ параграфѣ.

94. Рассчет устойчивости и прочности цѣлаго сооруженія.

Рассчет устойчивости и прочности сооружений можно раздѣлить на двѣ совершенно самостоятельные категории. Къ одной относятся расчеты, где требуется опредѣлить прочность какой либо части сооружения независимо отъ того вліянія, какое эта часть имѣть на устойчивость остальныхъ. Къ другой относятся тѣ расчеты, въ которыхъ необходимо выяснить общую устойчивость всего сооруженія или, иначе говоря, зависимость размѣровъ и формъ разныхъ частей сооружения отъ общей устойчивости. Къ первой категоріи относятся, напримѣръ, расчет прочности балокъ въ обыкновенныхъ зданіяхъ; расчет стропильныхъ фермъ; опредѣленіе сбѣчений для частей фермы; определеніе числа и размѣровъ заклепокъ и болтовъ; определеніе толщины сводовъ, арокъ или перемычекъ и т. д. Ко второй категоріи относится расчет цѣлаго сооруженія, т. е. определеніе устойчивости опоръ, фундаментовъ, оснований. Очевидно, раньше чѣмъ приступать къ определенію устойчивости всего сооруженій, необходимо определить всѣ силы, дѣйствующія въ разныхъ частяхъ сооружений; но при этомъ для определенія общей устойчивости вовсе не требуется иногда определенія всѣхъ деталей расчетовъ первой категоріи. Такъ, напримѣръ, на общую устойчивость сооруженія не будетъ вовсе вліять то обстоятельство, что зубья или шпонки сложной балки сдѣланы размѣрами больше, чѣмъ слѣдуетъ по расчету; на общую устойчивость не будетъ имѣть также никакого вліянія то обстоятельство, что болты сдѣланы не желѣзные, а стальные и прочее.

Если намъ дано рассчитать устойчивость и прочность, напримѣръ, церкви, то прежде всего необходимо выяснить себѣ, что собственно требуется определить: требуется ли определить толщину того или другого свода

или требуется определить наивыгоднѣйшія толщины разныхъ частей, чтобы сооруженіе было устойчиво. Если требуется определить только необходимую толщину какого либо свода, то, очевидно, сводъ наиболѣе толстый, будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и наиболѣе прочнымъ; но если требуется определить наименьшую толщину свода для того, чтобы можно было сдѣлать стѣны по возможности тоньше, то намъ необходимо начать расчет свода съ того, чтобы толщина этого свода была сдѣлана по возможности меньшей и чтобы вѣсь и распоръ этого свода были также наименьшими, хотя бы прочность была при этомъ предѣльная, т. е. давление на одинъ кв. дюймъ достигало бы предѣла прочнаго сопротивленія материала.

Такимъ образомъ общее стремленіе при расчетахъ должно быть направлено къ тому, чтобы въ предѣлахъ возможности уменьшать всѣ усилия, имѣющія характеръ силъ опрокидывающихъ, и, наоборотъ, увеличивать всѣ усилия, служащія къ удержанію сооруженія въ равновѣсіи. Однимъ изъ наиболѣе часто встрѣчаемыхъ опрокидывающихъ усилий есть распоръ или сила горизонтальная; поэтому къ уменьшенію или совершенствованію уничтоженію этой силы должны быть всегда направлены измѣненія въ проектѣ. Но части сооруженій, въ которыхъ уничтожаютъ распоръ, не тождественны по своему вліянію на общую устойчивость съ частями, въ которыхъ распора вовсе и не существовало. Чтобы нагляднѣе выяснить себѣ это обстоятельство, возьмемъ слѣдующий примѣръ. Имѣемъ два столба и между ними арку. Для равновѣсія столбовъ въ пятахъ арка заложена связь. Слѣдовательно, на каждый столбъ переходитъ грузъ, равный половинѣ арки. Но если бы мы нагрузили каждый столбъ кладкой, равной по вѣсу кладкѣ половины арки, то на столбы перешелъ бы такой же грузъ, какъ въ первомъ случаѣ. Между тѣмъ устойчивость столбовъ въ томъ и другомъ случаѣ различна. Дѣйствительно, желая, напримѣръ, опрокинуть одну

изъ опоръ, мы въ присутствіи связи сдѣлать этого не можемъ безъ того, чтобы не опрокинуть и второй столбъ; когда же перемычки нѣтъ, а есть только самостоятельно нагруженные столбы, то каждый изъ столбовъ можно опрокинуть независимо другъ отъ друга. Иначе говоря, въ двухъ приведенныхъ случаяхъ устойчивость столбовъ не тождественна. Это имѣетъ сходство съ тѣмъ случаемъ, когда мы имѣемъ грузъ равномѣрно распределенный по балкѣ; равнодѣйствующая этихъ грузовъ проходитъ въ срединѣ балки, но дѣйствіе этой равнодѣйствующей на балку не тождественно дѣйствию отдельныхъ грузовъ; изгибающій моментъ въ послѣднемъ случаѣ вдвое болѣе, чѣмъ въ первомъ.

Точно также, если мы на балку, лежащую на двухъ опорахъ, положимъ другую такую же балку, то грузъ второй балки можетъ и не вліять на прочность нижней балки, и быть въ равновѣсіи сама по себѣ; совершенно другое явленіе будетъ тогда, если мы верхнюю балку распишемъ на нѣсколько кусковъ и эти куски положимъ на нижнюю балку.

Всѣ эти обстоятельства показываютъ, насколько осторожно нужно вести расчетъ устойчивости цѣлаго сооруженія, чтобы не было ни лишней траты матеріала, ни недостаточной степени устойчивости.

Вмѣстѣ съ тѣмъ разсчитывать всѣ части сооруженія одновременно невозможно, и часто оказывается, что послѣ полнаго разсчета какой либо части, эту часть для устойчивости всего сооруженія надо совершенно перекомпеновать, слѣдовательно, весь трудъ, потраченный на разсчетъ этой части, пойдетъ на смарку, при чмъ ничѣмъ не гарантируется полезность дальнѣйшаго труда.

Въ виду такихъ обстоятельствъ слѣдуетъ приступить къ разсчету такимъ образомъ, чтобы всѣ потребныя измѣненія обнаруживались сейчасъ же. Опытъ показалъ, что наиболѣе рациональнымъ будетъ дѣлать разсчетъ устойчивости цѣлаго сооруженія по поясамъ.

Сущность поясного разсчета заключается въ слѣдующемъ:

Все сооруженіе, напримѣръ, церковь, дѣлимъ горизонтальными плоскостями на отдѣльныя части, и начинаемъ разсчетъ съ самой верхней, принимая нижнія части за незыблѣмое основаніе. Очевидно, если по разсчету верхняя часть до линій *de* (рис. 322) окажется

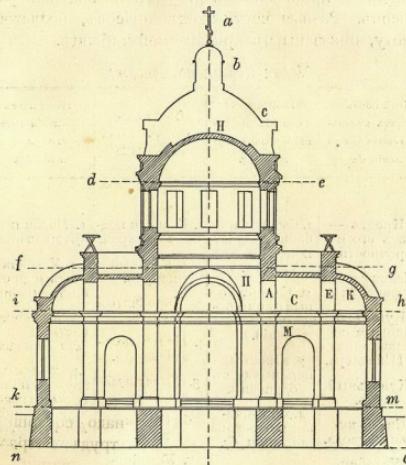


Рис. 322. Разрѣз перекрытий въ масштабѣ 1/4 дюйма на сажень.

неустойчивой, то какъ бы устойчивы ни были нижнія части, сооруженіе устойчивымъ считаться не можетъ, и мы принуждены измѣнить часть до линій *de* такъ, чтобы эта часть была вполнѣ устойчивой и прочной. Когда это будетъ нами достигнуто, мы переходимъ къ

определению устойчивости и прочности второго пояса, т. е. до линий *fg*, полагая все нижележащие части за незыблное основание. Определить устойчивость и прочность сооружения до линий *fg*, переходим к расчету третьего пояса и т. д., до основания фундамента включительно.

Для большей наглядности возьмем церковь, показанную на приведенном рисунке и разделившую на 5 поясов. Разные части этих поясов, подлежащие расчету, показаны в прилагаемой таблице.

Части церкви по поясамъ.

I-й поясъ до пять купольного свода или до линий <i>de</i> .	II-й поясъ до линии парусного козыря или линии <i>fg</i> .	III-й поясъ до пять арокъ или линии <i>ih</i> .	IV-й поясъ до линии поза перекин или до линии <i>km</i> .
1. Крестъ — вѣсъ его и прочность.	1. Стѣны барабана ихъ вѣсъ и центръ тяжести.	1. Главная подпружная арка.	1. Малая подпружная арка.
2. Малая главка съ фонаремъ.	2. Стропильныя фермы боковыхъ покрытий.	2. Главный парусъ.	2. Устойчивость и прочность пилона.
3. Купольное покрытие по фермамъ системы Шведлера.	3. Оконныя перемычки въ барабанѣ.	3. Коробчатый сводъ.	3. Устойчивость до линии <i>km</i> вообще.
4. Купольный сводъ.	4. Устойчивость барабана до линий <i>fg</i> .	4. Полукупольный сводъ.	4. Моменты грузовъ и распора относительно линии <i>km</i> и наружнаго ребра.
5. Связи купольного свода.		5. Крестовый сводъ.	
6. Устойчивость до линий <i>de</i> .		6. Боковая арка.	
		7. Устойчивость на высотѣ линий <i>ih</i> .	

I-й поясъ.

1. **Расчетъ креста.** Онъ заключается въ томъ, что надо определить, будетъ ли прочность креста достаточна, чтобы крестъ не сломался во время сильной бури. Для

этого необходимо найти величину площади, на которую дѣйствуетъ вѣтеръ, центръ давленія вѣтра (центръ тяжести площади креста, обращенной къ вѣтру) и моментъ силы вѣтра. Положимъ давленіе вѣтра равно 1 пуду на 1 кв. футъ; поверхность креста 10 кв. футовъ; центръ тяжести площади отъ основания стержня креста 5 футовъ; тогда моментъ вѣнчаной силы будетъ

$$10 \times 1 \times 5 \times 84 = 4200 \text{ пудодюймовъ.}$$

Очевидно, моментъ сопротивленія съченія стержня креста у основания долженъ быть не менѣе

$$W = \frac{4200}{k},$$

гдѣ *k* прочное сопротивленіе материала. Если крестъ желѣзный, то *k* = 300, и

$$W = \frac{4200}{300} = 14 \text{ кубич. дюймовъ,}$$

т. е. стержень, если онъ квадратнаго съченія долженъ быть такихъ размѣровъ, чтобы

$$\frac{x^3}{6} = 14,$$

или

$$x^3 = 14 \times 6 = 84,$$

откуда

$$x = \sqrt[3]{84} = 4,4 \text{ дюйма.}$$

Вѣсъ креста найдемъ, вычисливъ количество металла (желѣза или бронзы), потребного на его изготовление; примемъ, что это количество найдено и равно 75 пудамъ.

2. **Расчетъ малой главки и фонара.** Онъ заключается въ томъ, что опредѣляютъ величину продольныхъ усилий въ разныхъ частяхъ фермы, подбираютъ съченія соответствственно этимъ напряженіямъ, а также все сое-

динительныхъ частій, какъ заклепки, болты и прочее *), и затѣмъ опредѣляются вѣсъ всѣхъ этихъ частій. Но тутъ является еще одинъ весьма интересный вопросъ: какой грузъ мы должны считать переходящимъ на нижележащія конструкціи—только ли вѣсъ фермы или также давленіе вѣтра и снѣга? Вопросъ этотъ однако остается открытымъ и въ практикѣ принятъ считать грузъ, переходящій отъ фермы на нижележащія части равными площади горизонтального сѣченія наибольшаго круга, умноженной на извѣстное число пудовъ, а именно: на каждыи 30° уклона къ горизонту считаются 1 пудъ [на 1 кв. футъ]. Такъ, если уклонъ 45° , то на 1 кв. футъ приходится 1,5 пуда; при 60° —2 пуда. При болѣе крутыхъ скатахъ считаются боковую поверхность по 0,5 пуда въ 1 кв. футъ.

Положимъ, что диаметръ главки фонваря 8 футовъ; тогда вѣсъ будетъ согласно сказанному:

$$\frac{\pi \cdot 8^2}{4} \times 1,5 = 75 \text{ пудовъ};$$

на 1 кв. футъ взято 1,5 пуда, потому что наклонъ кровли въ среднемъ почти 45° .

Боковая поверхность барабана равна

$$\pi \cdot 98 = 246 \text{ кв. футъ},$$

гдѣ 9,7 высота барабана.

Согласно сказанному вѣсъ барабана будетъ

$$246 \times 0,5 = 123 \text{ пуда.}$$

Итого вѣсъ фонваря

$$75 + 123 = 198 \text{ пудовъ.}$$

3. Рассчетъ главного купольного покрытия (c). Фермы для этого покрытия примемъ системы Шведлера; со-

*.) Какъ опредѣляются продольныи напряженія подобныхъ фермъ, изложено въ VI части.

гласно опытамъ весь грузъ, переходящій на нижележащія части, можно вычислить по предыдущему, т. е. взять площадь наибольшаго круга и умножить ее на 1,5 пуда въ виду того, что наклонъ крыши можно принять въ среднемъ въ 45° . Площадь наибольшаго круга при данномъ диаметрѣ въ 48 футовъ будетъ

$$\frac{\pi \cdot 48^2}{4} = 1809 \text{ кв. футовъ};$$

следовательно, грузъ равенъ

$$1809 \times 1,5 = 2714 \text{ пуд.}$$

Но намъ кромѣ груза, переходящаго на нижележащія части, необходимо определить еще прочность и устойчивость всего купольного покрытия, принимая во вниманіе давленіе вѣтра и снѣга. Когда мы расчитаемъ прочность фермы, то, очевидно, мы будемъ имѣть данную, чтобы точно определить вѣсъ металлическихъ частей фермы, вѣсъ обрешетки, кровли, давленіе снѣга и вѣтра. Но въ суммѣ эти грузы или силы не равны полученному числу пудовъ, т. е. не равны 2714 пудамъ; да этого и не могло быть. Когда мы опредѣляли грузъ 2714 пудовъ, то мы вовсе не принимали во вниманіе дѣйствіе вѣтра, какъ боковую силу; не принимали во вниманіе и вѣсъ снѣга, который какъ и вѣтеръ дѣйствуетъ на ферму не постоянно, а временно. Такимъ образомъ полученная величина 2714 пудовъ есть результатъ данныхъ, выведенныхъ изъ практики, и получается совершенно независимо отъ величины напряженій въ частяхъ фермы.

Когда будуть определены продольныи напряженія въ частяхъ фермы, подобранные необходимыхъ размѣровъ сѣченія, вычислено количество заклепокъ и т. д., приступаютъ къ определению общей устойчивости всей конструкціи покрытия. Дѣло въ томъ, что части фермы могутъ быть вполнѣ прочными, но устойчивость всего покрытия можетъ быть недостаточной, иначе говоря, все

покрытие целикомъ можетъ быть свинуто вѣтромъ со своего мѣста. Чтобы этого не произошло, необходимо фермы прикрепить къ кладкѣ барабана болтами, достаточной длины и достаточного сѣченія.

Опредѣлимъ эти размѣры для даннаго случая. Положимъ, что вертикальная площадь сѣченія покрытия съ фонаремъ опредѣлена и равна 1500 кв. футамъ. Давленіе вѣтра, принимая его дѣйствующимъ горизонтально и равнымъ 1 пуду на 1 кв. футъ составить $1500 \times 1 = 1500$ пудовъ. Но такое давленіе было бы въ томъ случаѣ, если бы крыша представляла вертикальную плоскость. Въ данномъ случаѣ она полу-круглая и, какъ показалъ опытъ, давленіе равно только 0,57 исчисленнаго, т. е. давленіе на крышу будетъ $1500 \times 0,57 = 855$ пудовъ. Положимъ что мы графически опредѣлили центр тяжести вертикального сѣченія покрытия, и разстояніе этого центра тяжести отъ основания покрытия равно 20 футамъ; слѣдовательно, моментъ опрокидывающей силы равенъ $20 \times 855 = 17100$ пудофутамъ.

Моменты грузовъ, принимая вѣсъ фермъ и покрытия съ крестомъ опредѣленными и равными 1600 пудамъ, составляетъ всего

$$1600 \times 24 = 38400 \text{ пудосаженей};$$

коэфіціентъ устойчивости будеть

$$\frac{38400}{17100} = 2,2,$$

что вполнѣ достаточно и, слѣдовательно, покрытие опрокинуться не можетъ, и болты излишни въ этомъ смыслѣ. Что же касается устойчивости относительно скользженія, то, какъ изложено выше (Ч. I, § 99), напоръ вѣтра долженъ быть вдвое менѣе груза. Въ данномъ случаѣ напоръ вѣтра 855 пудовъ; грузъ 1600 пудовъ т. е. напоръ вѣтра больше половины, слѣдовательно, болты необходимы. Примемъ ихъ длиною 3 фута. Тогда

кирпичная кладка, которую захватываютъ болты, равна объему въ $2\pi \times 22 \times 3,90 \times 3 = 1617$ куб. фута, что составить грузъ $1617 \times 3 = 4851$ пудовъ. Толщина болтовъ для уничтоженія всего напора вѣтра должна быть въ суммѣ не менѣе $\frac{855}{300} = 2,85$ кв. дюйма. Если возьмемъ 16 болтовъ диаметромъ одинъ дюймъ или площадью въ 0,78 кв. дюйма каждый, то очевидно устойчивость всей рассчитываемой части болѣе достаточна. Точное опредѣление размѣровъ болтовъ основывается на тѣхъ же началахъ, на какихъ опредѣляется размѣръ связей для уничтоженія распора купольного свода (Ч. IV, § 79).

4. Раззчетъ купольного свода. Раззчетъ купольного свода заключается прежде всего въ опредѣлѣніи распора этого свода. Для послѣдней цѣли дѣлимъ сводъ меридиональными плоскостями на нѣсколько элементарныхъ арокъ и каждую арку на клинья. Затѣмъ, опредѣливъ центры тяжести клиньевъ и вѣсъ послѣднихъ, приступаемъ къ нахожденію кольцевыхъ распоровъ, какъ объ этомъ подробно изложено выше (§ 78). Имѣя распоры отдельныхъ колецъ, складываемъ ихъ съ помощью веревочнаго многоугольника и находимъ точку приложенія равнодѣйствующей всѣхъ распоровъ. Одновременно съ получениемъ кольцевыхъ распоровъ мы получимъ линію давленія, изъ которой видимъ, устойчивъ ли сводъ или нѣтъ. Если разныя части линіи давленія не выходятъ изъ средней трети соответственныхъ швовъ излома и если эти части линіи давленія не образуютъ съ этими швами угол менѣе $90^\circ - \alpha$, где α угол тренія камня о растворъ, то заключаемъ, что сводъ устойчивъ какъ относительно вращенія, такъ и относительно скользженія. Чтобы опредѣлить: достаточно ли прочность свода, необходимо опредѣлить абсолютную величину вѣса и распора свода. Вѣсъ свода получимъ, опредѣливъ объемъ кладки свода и умноживъ его на 3 пуда, если объемъ исчисленъ для кирпичной

кладки и въ кубическихъ футахъ. Положимъ, что объемъ кладки свода определенъ и равенъ 2550 кубич. футамъ. Согласно сказанному это составить $2550 \times 3 = 7650$ пудовъ. Построивъ согласно этому масштабъ силъ, находимъ непосредственно изъ чертежа величину распора всего свода (3750 пудовъ) и величину окончательной равнодѣйствующей 8500 пудовъ. Чтобы найти напряженіе материала въ какомъ либо сѣченіи свода, опредѣляемъ площадь этого сѣченія и дѣлимъ равнодѣйствующую на эту площадь. Такъ, напримѣръ, для пятныши имѣемъ площадь въ

$$2\pi 17 \times 2,3 = 246 \text{ кв. футовъ,}$$

причемъ радиусъ пути, проходимаго срединой пятныши, равенъ 17 футамъ; ширина пятныши (толщина свода въ пятыхъ) равна 2,3 фут. Такъ какъ равнодѣйствующая въ пятыхъ равна 8500 пудамъ и проходитъ близъ средней трети сѣченія, то среднее напряженіе материала будетъ

$$\frac{8500}{246 \times 144} = \frac{8500}{3544} = 0,215 \text{ пуда}$$

на 1 кв. дюймъ. Величина 144 есть число 12^2 , т. е. число квадратныхъ дюймовъ въ кв. футѣ. Наибольшее напряженіе согласно гипотезѣ Навье (Ч. I, § 67) будетъ вдвое больше и равно $0,215 \times 2 = 0,43$ пуда на 1 кв. дюймъ. Такъ какъ кирпичъ имѣеть прочное сопротивленіе около 3 пудовъ на 1 кв. дюймъ, то очевидно прочность свода съ большими запасомъ. Вообще опытъ показываетъ, что купольные своды при диаметрѣ до 10 саженей, будучи устойчивыми при взятой толщинѣ, всегда достаточно прочны; поэтому при размѣрахъ кирпичныхъ сводовъ, не превосходящихъ 10 саженей въ диаметрѣ, разсчитать прочности совершенно излишено; достаточно ограничиться расчетомъ устойчивости для определенія величины распора. Но если кромѣ того сводъ полуциркульный или вообще крутой, такъ что распоръ

уничтожается тренiemъ между камнями (§ 79), то и определеніе абсолютной величины распора излишне.

5. Разсчетъ связей купольного свода. Въ тѣхъ случаяхъ, когда стѣны главнаго барабана окажутся слабыми, необходимо бываетъ уничтожить распоръ купольного свода связями. Впрочемъ опытъ показалъ, что полезно закладывать связи и въ томъ случаѣ, когда этого не требуется по разсчету. Размѣры связей въ этомъ случаѣ могутъ быть $3'' \times \frac{5}{8}''$. Но когда связи должны уничтожить весь распоръ, то размѣры ихъ на основаніи § 79 должны удовлетворять растягивающему усилию равному $\frac{8500}{2\pi} = 1353$ пудамъ. Принимая сопротивление желѣза въ 360 пудовъ на 1 кв. дюймъ, получимъ необходимую площадь сѣченія связи $\frac{1353}{360} = 3,8$ кв. дюйма.

Можно взять двѣ связи въ $3'' \times \frac{5}{8}''$ дюйма.

6. Разсчетъ устойчивости и прочности части главнаго барабана до линіи *de*. Разсчетъ этой будетъ заключаться въ определеніи равнодѣйствующей всѣхъ силъ, приходящихъ на поверхность основанія барабана въ линіи *de*. Кромѣ найденныхъ сил, сюда перейдетъ грузъ части барабана. Чтобы найти эти грузы, необходимо найти объемъ кладки его въ кубич. футахъ и умножить на 3 пуда. Обыкновенно объемъ опредѣляется по способу Гюльдена (Ч. I, § 27), т. е. дѣлать сѣченіе барабана на элементы въ видѣ треугольниковъ или прямоугольниковъ, которыхъ площади легко вычислить и затѣмъ, зная центръ тяжести этихъ площадей, умножають площадь на путь, проходимый центромъ тяжести ея. Полагая, что на этомъ основаніи вычисленъ объемъ барабана и купольного свода и что этотъ объемъ равенъ 10876,33 куб. фута, находимъ грузъ $10876,33 \times 3 = 32629$ пудовъ.

Такимъ образомъ весь грузъ креста, фонаря, купольного покрытия, купольного свода и барабана до линіи *de* равенъ:

$$75 + 198 + 2714 + 32629 = 35616 \text{ пудовъ.}$$

Предполагая распорь уничтоженнымъ связями, получимъ на съченіе de одно лишь вертикальное равнотрійное давленіе.

Площадь съченія de при наружномъ радиусѣ въ 24 фута и внутреннемъ 18 футовъ равна

$$\pi (24^2 - 18^2) 144 = 114048 \text{ кв. дюймамъ.}$$

Давленіе на 1 кв. дюймъ равно

$$k = \frac{35616}{114048} = 0,31 \text{ пуда.}$$

Если распорь не уничтоженъ ни связями, ни трениемъ камней, то этотъ распоръ съ грузами даетъ нѣкоторую равнодѣйствующую R_x , которая будетъ проходить въ извѣстномъ разстояніи отъ края съченія. Для получения наибольшаго напряженія поступаемъ согласно сказанному выше (ч. I, § 68). Для даннаго случая получили бы среднее давленіе 0,31, наибольшее 0,41 пуда на 1 кв. дюймъ, изъ чего заключаемъ, что часть сооруженій до линій de устойчива относительно вращенія и съ большимъ запасомъ прочности. А такъ какъ величина распора 3750 пудовъ и грузъ 35616 пудовъ, т. е. распоръ во много разъ меньше груза, то уголъ, образуемый R_x и горизонтальнымъ швомъ de , значительно больше $90^\circ - \alpha$, где α уголъ тренія камня о растворъ; слѣдовательно, сооруженіе устойчиво также относительно скольженія въ плоскости de .

Этимъ заканчивается расчетъ I-го пояса.

II-й поясъ.

Во второмъ поясѣ, какъ видно изъ чертежа, нѣть сводовъ и вообще конструкцій, развивающихъ боковыя усиленія, кроме перемычекъ оконъ и стропиль, а потому расчетъ этого пояса заключается въ определеніи объема и вѣса кладки этой части барабана; въ определеніи распоровъ перемычекъ и стропиль; въ сложеніи полученныхъ усилий съ предыдущими и въ определеніи линій давленія въ съченіи fg , а также въ определеніи здѣсь величины напряженія материала.

1. Определеніе вѣса кладки барабана и центра тяжести его. Если барабанъ будетъ круглый или многоугольный въ планѣ безъ вертикальныхъ декоративныхъ частей, каковы колонны, пилasters и др., то легче всего определить объемъ кладки барабана, предполагая его сплошнымъ, т. е. безъ оконныхъ отверстій и уже затѣмъ вычесть объемъ этихъ послѣднихъ. Когда же барабанъ внутри и снаружи украшенъ разными отдельно стоящими частями, то слѣдуетъ отдельить часть представляющую тѣло вращенія отъ остальной и объемы ихъ вычислить порознь. Положимъ, что на основіи сказанного вычисленъ весь объемъ барабана между линіями de и fg и что этотъ объемъ равенъ 25821,59 кубич. футамъ. Если кладка барабана изъ кирпича и вѣсъ кубического фута кладки равенъ 3 пудамъ, то означенный объемъ дастъ грузъ въ 25821,59 × 3 = 77494,77 пуда.

Весьма важно знать затѣмъ центръ тяжести барабана. Но тутъ слѣдуетъ оговорить, какой центръ тяжести. Дѣло въ томъ, что если мы будемъ рассматривать весь барабанъ, то центръ тяжести находится на вертикальной оси барабана. Для расчета устойчивости этотъ центръ тяжести не имѣть значенія. Гораздо важнѣе знать центръ тяжести четверти барабана, получаемой пересеченіемъ барабана двумя взаимно перпендикулярными вертикальными плоскостями, а также центръ тяжести площади съченія барабана, и, наконецъ, центръ тяжести какого угодно элемента барабана. Дѣйствительно, когда барабанъ теряетъ равновѣсіе благодаря, напримѣръ, распору купольного свода, то онъ распадается на множество частей, двигаясь вращательно или поступательно въ меридиональной плоскости. Слѣдовательно, для определенія устойчивости барабана необходимо знать центръ тяжести особой части его, вырѣзанной изъ общей массы двумя меридиональными плоскостями.

Очевидно, центры тяжести двухъ равныхъ и смежныхъ вырѣзковъ не всегда будутъ на одномъ мѣстѣ,

такъ какъ многіе вырѣзки барабана приходятся противъ оконныхъ отверстий, слѣдовательно, какъ вѣсъ вырѣзка, такъ и центръ тяжести его отличаются отъ таковыхъ для вырѣзка противъ простѣнка между окнами.

Если нельзя принять четверть барабана за одну монолитную массу, то слѣдуетъ опредѣлить устойчивость наиболѣе слабаго мѣста. Въ гражданской архитектурѣ это рѣдко встрѣчается и обыкновенно одну четверть барабана можно рассматривать, какъ цѣлое и для определенія устойчивости ея необходимо найти центръ тяжести сбѣченій, считая вѣсъ барабана сосредоточеннымъ въ этомъ сбѣченіи и затѣмъ, сложить этотъ вѣсъ съ остальными силами. Проще всего опредѣлить центръ тяжести графически.

2. Рассчет стропильныхъ фермъ крыши, покрывающей своды боковыхъ частей. Боковая части, т. е. своды предполагаются перекрытыми стропильными фермами изъ желѣза съ деревянной обрешеткой и желѣзной кровлей. Размѣры частей стропильныхъ фермъ должны быть точно опредѣлены, а для этого необходимо опредѣлить величину продольныхъ напряженій въ частяхъ фермы. Послѣднее можно сдѣлать графически по способу Кремона или аналитически по способу Риттера (Ч. I, §§ 94 и 95). Но не во всякомъ случаѣ дѣло такъ просто, какъ кажется; перекрытие по проекту можетъ быть такое, что ферма не можетъ имѣть затяжекъ, слѣдовательно, можетъ быть надъ однимъ сводомъ только система Фефля; надъ другимъ сводомъ съ однимъ скатомъ. Отсюда является весьма сложное распределеніе нагрузки на фермы и необходимость определенія напряженія не въ одной, а нѣсколькоихъ фермахъ одновременно.

Подробное изложеніе расчета фермъ вообще, приведено ниже (Ч. VI). Здѣсь мы обратимъ лишь внимание на вѣсъ фермъ и общую устойчивость. Положимъ, что послѣдняя найдена и вполнѣ удовлетворительна. Но вопросъ о вѣсѣ фермы, какъ грузѣ, переходящемъ на барабанъ въ сбѣченіи *fg*, еще этимъ не будетъ

рѣшены. Дѣло въ томъ, что при расчетѣ фермы мы опять принимаемъ во вниманіе давленіе вѣтра; но эта сила въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ въ пользу устойчивости, а потому, если мы примемъ ее во вниманіе при расчетѣ устойчивости, а она дѣйствовать не будетъ, то мы вмѣстѣ съ этимъ подвергаемъ сооруженіе нѣкоторому риску. Гораздо rationalнѣе пользоваться тѣмъ же практическими данными, на которыхъ мы указали выше, а именно: принимать, что на опоры переходить грузъ, получаемый при умноженіи площади горизонтальной проекціи крыши (въ квадратныхъ футахъ) на 1 пудъ.

Въ данномъ случаѣ площадь горизонтальной проекціи крыши равна 4445,50 кв. футамъ, что даетъ грузъ въ $4445,50 \times 1 = 4445,50$ пуда. Но на барабанъ перейдетъ лишь около половины груза, а остальная передастъ на наружную стѣну. Слѣдовательно, на барабанъ въ сбѣченіи *fg* можно считать отъ крыши грузъ въ $\frac{4445,50}{2} = 2222,75$ пуда.

Но спрашивается теперь, гдѣ будемъ мы считать точку приложения этого груза, иначе говоря, гдѣ находится точка приложения груза $\frac{1}{4}$ полукрыши, т. е. груза $\frac{2222,75}{4} = 555,69$ пудовъ. Обыкновенно принято считать, что грузъ приложенъ въ точкѣ опоры, на которой лежитъ конецъ конструкціи, передающей грузъ. Но какъ понимать это?

Для выясненія вопроса возьмемъ болѣе простой примѣръ. Положимъ, что на двухъ столбахъ лежитъ балка. Спрашивается, гдѣ точка приложения груза балки, если разматривать каждый столбъ въ отдельности? Очевидно, давленіе на столбы будетъ въ тѣхъ точкахъ, на которыхъ лежитъ балка; но это не значитъ, что устойчивость двухъ столбовъ, перекрытыхъ балкой будетъ одинакова съ устойчивостью двухъ столбовъ, нагруженныхъ каждый независимо грузомъ равнымъ

грузу половинѣ балки. То же самое надо сказать и о грузѣ, передаваемомъ фермами (крышей) на барабанъ; принимая центръ давленія ихъ въ точкѣ, на которой лежатъ концы фермы, мы должны принять впослѣдствіи во вниманіе и то, что этотъ грузъ связанъ съ другимъ, переходящимъ на наружную стѣну.

Совершенно другое обстоятельство будетъ въ томъ случаѣ, когда ферма развивается распоръ. Тогда центръ тяжести уже не будетъ въ точкѣ опоры, а въ центрѣ тяжести половины фермы. Въ приведенномъ случаѣ мы предположили фермы безъ распора, или распоръ уничтоженнымъ связями.

3. Расчетъ оконныхъ перемычекъ. Оконная перемычка при кругломъ барабанѣ представляютъ изъ себя особый типъ сводчатыхъ перекрытий. Нѣть сомній что когда стѣнки барабана очень тонки, а пролетъ окна весьма великъ, устойчивость перемычки находиться въ невыгодныхъ условіяхъ, такъ какъ перемычка можетъ быть выдвинута изъ своего мѣста въ горизонтальномъ направлениі (рис. 323). Отсюда вытекаетъ, что между шириной перемычки (толщиной барабана), радиусомъ кривизны и пролетомъ отверстія должна существовать нѣкоторая зависимость, такъ что при предѣльѣ нѣкоторыхъ величинъ устойчивость относительно горизонтальной плоскости не гарантирована. Не трудно видѣть, въ какомъ случаѣ получается этотъ предѣль,

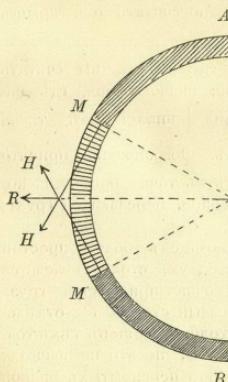


Рис. 323. Устойчивость перемычекъ въ кругломъ барабанѣ.

Дѣйствительно, сопротивленіе опоры дѣйствуетъ нормально къ плоскости пяты, слѣдовательно, если эта нормаль не выходитъ изъ средней трети ширины перемычки (толщины барабана) и если уголъ, образуемый этой нормалью и среднимъ швомъ (замочнымъ швомъ въ планѣ) будетъ не менѣе угла $90^\circ - \alpha$, где $\alpha = 30^\circ$ (уголъ трения камня о растворъ), то устойчивость относительно горизонтальной плоскости гарантирована. Изъ сказанного слѣдуетъ, что отверстіе окна не можетъ быть больше $\frac{1}{6}$ части окружности, иначе указанный уголъ будетъ менѣе 60° . Чтобы нормаль въ срединѣ пяты не выходила изъ средней трети ширины перемычки, нужно, чтобы эта ширина не была менѣе $\frac{3}{4}$ пролета окна или, наоборотъ, чтобы пролетъ окна не былъ болѣе 1,33 толщины барабана.

Если же считать достаточнымъ, чтобы нормаль къ $\frac{1}{3}$ пяты не выходила изъ $\frac{1}{3}$ ширины барабана, то пролетъ можетъ быть не болѣе 1,77 толщины барабана. Это показываетъ, что если барабанъ толщиной въ 1 аршину, то нельзѧ дѣлать пролета окна болѣе 1,77 аршина; лучше дѣлать только 1,33 аршина.

Предѣломъ ширины пролета, когда перемычка будеть въ мгновенномъ равновѣсіи, надо считать пролетъ въ $\frac{2}{3}$ ширины перемычки.

Во всякомъ случаѣ перемычки оконъ въ барабанѣ развиваются распоръ, который взаимно не уничтожается на подобіе распора въ перемычкахъ прямолинейной стѣны, а потому этотъ распоръ надо принимать во вниманіе всякой разъ, когда онъ не уничтоженъ связями или когда нельзѧ сказать, что влияние распора на устойчивость барабана очень незначительно.

Сопоставляя размѣры чертежа данной церкви съ изложеннымъ здѣсь, приходимъ къ заключенію, что перемычки оконъ вполнѣ устойчивы и прочны.

4. Определение устойчивости и прочности стыка барабана въ сечении fg .

Прежде всего найдемъ, какой грузъ переходить на это сеченье. Грузы эти были вычислены раньше и какъ намъ известно, равны:

1) отъ верхнихъ частей зданія до линіи de , грузъ равенъ 35616 пудамъ;

2) отъ стыка барабана 77464,77 пуда;

3) отъ крыши боковыхъ частей 2222,75 пуда.

Итого $35616 + 77464,77 + 2222,75 = 115303,52$ пуда.

Очевидно, что если распоръ купольного свода уничтоженъ связями, то давленіе въ сечениі fg равно мѣрно и устойчивость вѣнчанія. Но когда распоръ существуетъ и ничѣмъ не уничтоженъ, то необходимо проверить устойчивость барабана. Такъ какъ весь вѣсъ его 115303,52 пуда, а весь распоръ согласно сказанному выше 3750 пудовъ, т. е. до 30 разъ меньше, то относительно скользженія устойчивость вполнѣ гарантирована. Не такъ обстоитъ дѣло съ устойчивостью относительно вращенія.

Если построимъ посредствомъ веревочного многоугольника центръ тяжести грузовъ и къ этимъ грузамъ приложимъ распоръ, то увидимъ, что равнодѣйствующая выходитъ изъ средней трети сечения барабана. Въ этомъ не трудно убѣдиться и аналитически. Дѣйствительно, ширина сечения барабана 6,5 фута. Высота отъ точки приложения распора до сечениія fg равна 55,0 футамъ, отношение $\frac{1}{6}$ ширины сечения къ высотѣ этой равно $\frac{55,0 \times 6}{65} = 43$. Отношение же груза къ распору равно $\frac{115303,52}{3750} = 30,7$.

Это показываетъ, что для того, чтобы линія давленія не выходила изъ средней трети толщины барабана, нужно, чтобы центръ тяжести по возможности былъ ближе къ внутреннему краю. Въ данномъ случаѣ, какъ показали приблизительныя построенія, центръ тя-

жести грузовъ находится на разстояніи 2,5 фута отъ внутренняго края; слѣдовательно, разстояніе отъ $\frac{1}{3}$ до центра давленія равно $\frac{6,5 \times 2}{3} - 2,5 = 1,83$. Отношеніе къ высотѣ равно $\frac{55}{1,83} = 30,0$, т. е. равнодѣйствующая проходитъ почти въ одной трети отъ наружнаго края.

Такъ какъ весь грузъ 115303,52 пуда, а съченіе барабана равно $\pi (24,8^2 - 18,30^2) = 879,64$ кв. фута или $879,64 \times 144 = 126668$ кв. дюймъ, то наибольшее напряженіе не превосходитъ $\frac{115303,52 \times 2}{126668} = 1,8$ пуда на 1 кв. дюймъ.

Это показываетъ, что даже при отсутствіи связей, если кирпичъ обладаетъ прочнымъ сопротивленіемъ болѣе 2 пудовъ на 1 кв. дюймъ, устойчивость барабана относительно вращенія гарантирована и прочность вполнѣ достаточна.

Доказавъ устойчивость и прочность сооруженія до линіи fg , можемъ перейти къ определенію устойчивости и прочности III-го пояса.

III-й поясъ.

Здѣсь прежде всего имѣемъ дѣло съ главными подпружными арками A и парусомъ P (рис. 324). Начнемъ съ подпружной арки.

1. Расчетъ подпружной арки.
A. Раньше, чѣмъ приступить къ расчету подпружной арки, т. е. къ определенію распора арки и прочности кладки, необходимо построить диаграмму нагрузки, чтобы упростить весь расчетъ.

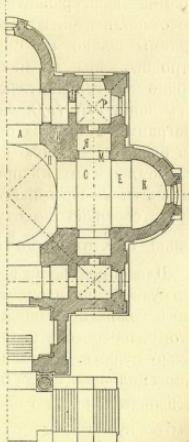


Рис. 324. Планъ керкви въ масштабѣ $\frac{1}{4}$ дюйма на сажень.

Для этого мы имѣемъ весь грузъ верхнихъ частей сооруженія, равный 115303,52 пуд.; кромѣ того на арку переходитъ грузъ самой арки съ надбуткой отъ нижней линіи арки до линіи *fg* и грузъ паруса. Грузы эти переходятъ или непосредственно на арку или передаются на арку парусами. Вслѣдствіе этого діаграмма нагрузки будетъ не горизонтальной, а кривой линіей. Въ § 53 подробно изложено построеніе діаграммы для данного случая.

Какъ видно изъ чертежа (рис. 182), діаграмма нагрузки имѣть наибольшую высоту между замкомъ арки и пятами. По первому взгляду кажется, что определеніе діаграммы весьма важно; но если мы замѣтимъ, на сколько разность между разными ординатами діаграммы мала сравнительно со всей высотой ординатъ, то станетъ яснымъ, что точное определеніе линіи діаграммы далеко не оправдываетъ трудовъ по ея построению. Мы могли бы принять діаграмму нагрузки прямо за горизонтальную линію на высотѣ 43,7 фута отъ линіи *MN* (*gf*); полученный распоръ при новой діаграммѣ отличался бы отъ распора данной діаграммы на очень небольшую величину.

Вотъ почему въ практикѣ обыкновенно не прибегаютъ къ построенію точной діаграммы, а прямо беруть среднюю высоту (раздѣляя весь грузъ на площадь), т. е. въ данномъ случаѣ $\frac{115303,52}{3 \times 879,64} = 43,7$ фута.

Для определенія величины распора дѣлимъ арку съ нагрузкой на элементы вертикальными плоскостями, какъ изложено выше (Ч. I, § 111). Поступая согласно этому, найдемъ что для данного случая распоръ равенъ 10240 пудамъ. Это давленіе будетъ существовать въ замкѣ; площадь замка $6,5 \times 3,5 \times 12^2 = 3276$ кв. дюймовъ, слѣдовательно, на 1 кв. дюймъ приходится $\frac{10240 \times 2}{3276} = 6,00$ пудовъ.

Точно также мы нашли бы, что давленіе въ пятахъ равно 7 пудамъ на 1 кв. дюймъ. Но такъ какъ кир-

пич обладаетъ прочнымъ сопротивлениемъ не болѣе 3 пудовъ на 1 кв. дюймъ, то, очевидно, нужно увеличить толщину арки.

Здѣсь мы встрѣчаемся съ весьма важнымъ практическимъ вопросомъ: до какой степени можно утолщать арку, чтобы это утолщеніе не было фиктивнымъ; нельзя ли утолщать ее сколько угодно?

Въ этомъ отношеніи практика показала, что дѣлать кирпичную арку толщиной болѣе 2 аршинъ бесполезно; гораздо лучше замѣнить ее аркой изъ тесанного камня. Въ данномъ случаѣ толщина арки въ пятахъ принята въ 4,5 фута, т. е. почти два аршина, слѣдовательно, утолщать безполезно. Поэтому мы примемъ, что арку проектированного размѣра необходимо возвести изъ материала, обладающаго прочнымъ сопротивлениемъ не менѣе 7 пудовъ на 1 кв. дюймъ.

Примѣчаніе. Слѣдуетъ здѣсь слѣдующую оговорку. При разсчетѣ арки, особенно при определеніи діаграммы нагрузки, мы допускаемъ многія неточности, независимо отъ того, какимъ способомъ мы будемъ производить разсчеты: графическимъ или аналитическимъ. Эти неточности допускаемъ въ слѣдующемъ: мы предполагаемъ силу сосредоточенной по средней оси арки, параллельной щековыми поверхностями, несмотря на то, что грузъ, передаваемый透过 parusъ, вовсе не распредѣляется равномерно. Допущеніе такой неточности настолько велико въ сравненіи со всѣми неточностями графического способа по отношенію къ способу аналитическому, что можно считать всѣ неточности, получаемыя при графическомъ способѣ разсчета безконечно малыми въ сравненіи съ неточностями, допускаемыми въ самомъ принципѣ разсчета, какимъ бы способомъ онъ ни производился.

Весьма важная неточность вся资料а разсчета заключается въ томъ, что мы вовсе не принимаемъ во вниманіе силу сцѣпленія раствора и силу тренія между

камнями. Это приводит иногда к тому, что мы получаем удивительные противоречия фактовъ съ теорией. Такъ, напримѣръ, по теориѣ давлениѣ въ нижнемъ основаніи круглого барабана неравномѣрно, такъ какъ кривая давлениѣ выходитъ изъ средней трети сѣченія; на практикѣ оказывается, что давлениѣ безусловно равномѣрно. Такимъ образомъ, разсчетъ совершенно не отвѣчаетъ дѣйствительности.

Какую же цѣну можетъ имѣть такой разсчетъ; не является ли онъ совершенно мианскимъ и нецужданнымъ? Нѣтъ; такой разсчетъ представляется не только большою цѣнностью, но безусловно необходимъ. Относительно же способа надо сказать что графической разсчетъ всегда будетъ не только болѣе близкимъ натурѣ, но и болѣе нагляднымъ для выясненія сущности задачи. Въ чѣмъ же заключается цѣнность разсчета? Очевидно, въ томъ, что опредѣляя устойчивость сооруженія и найдя, что она вполнѣ гарантирована, мы можемъ со спокойной совѣстью возводить его, такъ какъ на самомъ дѣлѣ устойчивость зданія будетъ больше, чѣмъ полученная по разсчету. Для сравненія возьмемъ такой примѣръ: для поднятія гири мы нашли нужнымъ приложить силу 2 пуда; очевидно, что сила, болѣе чѣмъ 2 пуда, подавно въ состояніи поднять гирю; но если бы мы не знали какая сила можетъ поднять данную гирю, то, мы не могли бы сказать, что даже сила въ то пудовъ въ состояніи поднять ее. Точно также, если бы мы нашли, что силой въ 2 пуда нельзѧ поднять данной гири, то мы не могли бы еще сказать, какой силой поднять ее можно; если по какому либо разсчету получили, что зданіе неустойчиво, то мы ничего не могли бы утверждать, т. е. не могли бы сказать: устойчиво оно или нѣтъ.

2. Разсчетъ паруса. Нагрузка паруса состоить изъ части барабана высотою 43,7 фута; согласно чертежу и сказанному въ § 56 находимъ эту нагрузку и грузъ самого паруса, а также распоръ и равнодѣйствующую.

Такъ какъ парус тупой, то переходъ отъ плана столбовъ къ круглому барабану весьма плавный и линія барабана весьма мало выступаетъ противъ линій скосленного угла пилона; въ виду этого распоръ тупого паруса весьма незначительный. Въ данномъ случаѣ нагрузка на барабанъ равна 8521 пуду, а распоръ по диагонали равенъ только 1792 пудамъ.

Распоръ паруса, какъ и распоръ подпружныхъ арокъ, въ случаѣ, когда столбы неустойчивы, часто уничтожается связями, видимыми внутри церкви или скрытыми въ кладкѣ декоративной арки (рис. 147). Связь для арокъ всегда кладется вдоль щековой поверхности постѣдникъ, такъ какъ распоръ дѣйствуетъ въ томъ же направлениѣ.

Парусныя связи, несмотря на то, что распоръ дѣйствуетъ главнымъ образомъ по диагонали, кладутся параллельно арочнымъ связямъ, такъ что штыры парусовъ удерживаются двумя струнами, расположеными подъ прямымъ угломъ. Если распоръ по диагонали равенъ H_o , то сила, разрывающая струну, будетъ:

$$H_1 = \frac{H_o}{\sqrt{2}} = \frac{H_o}{1,4} = 0,7 H_o.$$

Въ данномъ случаѣ $H_o = 1792$ пуда, а потому

$$H_1 = 1792 \times 0,7 = 1254 \text{ пуда.}$$

Принимая сопротивленіе желѣза разрыву въ 300 пудовъ на 1 кв. дюймъ, получимъ необходимое сѣченіе связи $\frac{1254}{300} = 4$ кв. дюйма. Примемъ желѣзо брусковое $2'' \times 2''$. Число связей будетъ четыре, по одной въ каждой сторонѣ квадрата въ планѣ; штырь закладывается близь наружного угла пилона, такъ что струна не проходитъ въ срединѣ ширини арки, а близь ея наружного края. Когда разстояніе отъ нижней линіи арки до паруснаго кольца (*fg*) невелико, то связь парусная будетъ ниже линіи арки, а слѣдовательно, будетъ видна въ

церкви, что весьма некрасиво. Поэтому стараются такъ скомпоновать арки и паруса, чтобы связь проходила выше линии арки, или чтобы связи арки могли служить связями для и парусовъ. Во всякомъ случаѣ связи парусныхъ необходимо закладывать близъ выносныхъ пять, но не выше ихъ.

Въ высшей степени важно ясное представление распределеній усилий въ парусѣ, чтобы въ практикѣ не дѣлать странныхъ конструкций его. Такъ, напримѣръ, въ парусахъ Исаакиевскаго собора, кромѣ дѣйствительно нужныхъ связей вдоль щековыхъ поверхностей арокъ, заложены струны по диагонали, причемъ эти струны связываютъ угловой штырь съ кривыми штырями, заложенными въ самой кладкѣ паруса. Очевидно, строитель воображалъ, что парусъ, благодаря давленію сверху, можетъ опрокинуться во внутрь церкви, и потому нашелъ нужнымъ привязать парусъ къ угловому штырю.

Такое же курьезное пониманіе сущности дѣйствія силъ въ парусѣ мы встрѣтили у одного современного намъ строителя. Понятно, что эти связи вреда никакого не приносятъ, точно такъ же, какъ не приносять никакой пользы, но по наивности своей идеи должны быть избѣгаемы.

3. Коробчатый сводъ С боковыхъ придаѣловъ. Коробчатый сводъ С покрываетъ боковые части церкви. Сводъ этотъ ничѣмъ не нагруженъ и по формѣ полуциркульный. Для опредѣленія распора этого свода, устойчивости его и прочности пользовались правилами, изложенными въ § 47, гдѣ приведенъ примѣръ, вполнѣ отвѣчающій данной намъ церкви; сводъ этого названъ ненагруженной аркой для того только, чтобы показать, что разницы между расчетомъ арки и коробчатаго свода никакой нѣтъ. Изъ указанного § 47 мы находимъ, что распоръ свода равенъ 352 пудамъ, и наибольшее напряженіе матеріала около 0,5 пуда на 1 кв. дюймъ, такъ что устойчивость и прочность свода вполнѣ гарантированы.

Примѣчаніе. Здѣсь мы должны указать на одно обстоятельство, имѣющее весьма существенное значеніе въ практикѣ. Мы разумѣемъ предохраненіе сводовъ отъ промерзанія. Дѣло въ томъ, что стѣны зданій у насъ принято возводить въ $2\frac{1}{2}$ кирпича или въ 1 аршинъ толщиной; дѣлать такой же толщины своды—значило бы чрезвычайно увеличивать распоръ, а въ связи съ этимъ, размѣры устоевъ. Въ виду этого, принято дѣлать своды на чердачахъ и вообще въ мѣстахъ, где они подвержены сильному охлажденію, такой толщины, какой они должны быть для достаточной устойчивости, а для предохраненія ихъ отъ холода принято дѣлать смазку изъ легкаго матеріала, каковы пробка, сфагнумъ, войлокъ и т. д. Но чтобы не усложнять расчета, эту смазку обыкновенно не принимаютъ во вниманіе, полагая, что вѣсъ ея менѣе $\frac{1}{2}$ вѣса самого свода, а потому, если напряженіе не превосходитъ 2 пудовъ на 1 кв. дюймъ, то при смазкѣ это напряженіе не превзойдетъ 3 пудовъ. Но, очевидно, при опредѣленіи нагрузки на нижележащія части вѣсъ смазки долженъ быть принятъ во вниманіе. Нами была пропущена выше смазка купольнаго свода и лишь на основаніи слѣдующихъ соображеній: наименьшая толщина свода проектирована $1\frac{1}{2}$ кирпича; напряженіе получается менѣе 0,43 пуда на 1 кв. дюймъ. Очевидно, сводъ можно сдѣлать тоньше (что дѣйствительно и предположено сдѣлать на самомъ дѣлѣ); примѣръ толщину въ 1 кирпичъ. Тогда остается для смазки 3 вершка; заполнить его пробковой смазкой въ 6 вершковъ при вѣсѣ вдвое легче, находить изъ таблицъ, что такая смазка предохраняетъ отъ холода настолько же, какъ кирпичная кладка толщиной болѣе 12-ти вершковъ, а слѣдовательно, смазка вполнѣ удовлетворяетъ своей цѣли и вѣсъ ея не превосходитъ исчисленного выше.

4. Полукупольный сводъ *K* боковыхъ придѣловъ и полукупольное металлическое покрытие. Сводъ этотъ также ничѣмъ не нагруженъ. Рассчетъ его совершенно тождественъ расчету цѣлаго купольного свода. Поэтому, поступая согласно изложенному въ § 78 найдемъ, какъ распоръ полукупола, такъ и вѣсъ его, устойчивость и прочность. Такъ какъ стѣна наружная, поддерживающая сводъ, не особенно толста, то распоръ свода предположимъ уничтожить связью. Пусть сѣченіе связи равно $3'' \times \frac{5}{16}''$. Связь эта будетъ полукульцевой и совершенно одинаковой по размѣрамъ со связью для цѣлаго купола, такъ какъ сила, разрывающая связь, будетъ такой же величины, какъ если бы сводъ былъ цѣлымъ. Отличаются эти связи отъ связи въ видѣ полнаго кольца тѣмъ, что въ полукруглой части онѣ будутъ имѣть штыри, расположенные по кругу, а свободные концы связи задѣлываются въ стѣну надъ аркой *M*.

Но тутъ есть одно обстоятельство, на которое слѣдуетъ обратить вниманіе. Полукупольный сводъ, будучи открытымъ съ одной стороны, не даетъ возможностей дѣлать связи въ видѣ полнаго кольца, а потому распоры у открытаго края дѣйствуютъ не вдоль связи, а поперекъ ея, почему никакой силой для удержанія распора не обладаютъ. Чтобы полукульцевая связь удовлетворяла своей цѣли, необходимо у открытой стороны свода, заложить поперечную связь вдоль арки *E*. Эта связь будетъ видимой въ церкви и потому ея избѣгаютъ, тѣмъ болѣе, что роль этой связи выполняютъ въ данномъ случаѣ наружная боковая стѣна, поддерживающія арки *E*. Дѣйствительно, поперечная связь для купольного свода будетъ параллельна связямъ для арки *E*. Но связи для арки *E* не требуется, такъ какъ стѣна болѣе тѣмъ достаточно устойчива; слѣдовательно, не нужно и поперечной связи для полукупола, если эта стѣна удовлетворяетъ цѣли.

Такъ какъ толщина полукупольного свода при-

нята такая же, какъ для главнаго, то, очевидно, прочность и устойчивость его вполнѣ гарантированы. Вѣсъ же свода равенъ 1915 пудамъ.

Что касается до металлическаго полукупольного покрытия системы Шведлера, то о немъ можно сказать все то, что было сказано выше о металлическомъ покрытии главнаго купола.

5. Крестовый сводъ *P* малаго придѣла. Подробное опредѣленіе устойчивости и прочности крестового свода вообще приведено въ § 73. Въ данномъ случаѣ размѣръ его очень малъ и весь вѣсъ равенъ 40 пудамъ, почему мы могли бы его и не разсчитывать и вовсе не принимать во вниманіе при опредѣленіи общей устойчивости церкви. Диагональный распоръ равенъ 36,5 пудамъ.

6. Боковая подпружная арка *E*. Боковая подпружная арка подвержена нагрузкѣ отъ наружной стѣны центральной части церкви. Что же касается груза полукупольного свода и груза полукупольного металлическаго покрытия, то они на эту арку не переходятъ. Но зато на арку передѣгутъ грузъ отъ плоскихъ крыши центральной части.

Діаграмма нагрузки на арку будетъ въ видѣ горизонтальной линіи. Полагая, что грузъ арки съ надбуткой опредѣленъ и равенъ 760 пудамъ, мы строимъ кривую давленія и находимъ устойчивость и прочность ея совершенно такъ же, какъ для главной арки. Пусть распоръ, найденный сказаннымъ способомъ, равенъ 3170 пудамъ, причемъ наибольшее напряженіе материала равно 2,3 пуда на 1 кв. дюймъ. Тогда мы заключаемъ, что арка вполнѣ устойчива и прочна, если материалъ обладаетъ прочнымъ сопротивленіемъ не менѣе 2,3 пуда на 1 кв. дюймъ.

7. Устойчивость и прочность церкви въ сѣченіи на высоцѣ линіи *й*. Имѣя всѣ распоры сводчатыхъ перекрытий и грузы разныхъ частей сооруженія, можно приступить къ опредѣленію устойчивости и прочности со-

оруженія до даннаго сѣченія. Для этого складываемъ сначала всѣ грузы, которые перейдутъ на сѣченіе *ih*, затмъ вѣсъ распоры, и наконецъ, складываемъ равнодѣйствующую отъ распоровъ съ равнодѣйствующей отъ грузовъ и, если окончательная равнодѣйствующая не выйдетъ изъ средней трети сѣченія и прочность материала достаточна, то заключаемъ о полной устойчивости сооруженія до линіи *ih*.

Разматривая, однако, чертежъ, не можемъ не обратить вниманія, что въ данномъ сѣченіи устойчивость церкви весьма значительна въ сравненіи съ устойчивостью въ сѣченіи *km*, а потому безполезно опредѣлять подобно величину напряженія въ сѣченіи *ih*, такъ какъ, если бы она была недостаточна, то всю церковь пришлось бы перекомпоновать, ибо тогда устойчивость въ сѣченіи *tk* была бы совершенно невозможной даже при значительномъ утолщеніи всѣхъ частей. Въ виду этого мы непосредственно перейдемъ къ опредѣленію устойчивости и прочности IV-го пояса церкви, т. е. къ опредѣленію устойчивости въ сѣченіи *km*. При этомъ надо замѣтить, что это сѣченіе (на высотѣ пола церкви) всегда будетъ наиболѣе слабымъ въ какомъ угодно проектѣ и потому на это сѣченіе церкви слѣдуетъ обращать главное вниманіе при всякомъ разсчетѣ.

Изъ сводчатыхъ покрытий, не вошедшіхъ пока въ нашъ разсчетъ остались немногія: это малыя подпружныя арки *M* и *L*. Такъ какъ нагрузкой на нихъ будетъ одна и та же стѣна, то можемъ ихъ считать за одну арку, а пиластръ въ аркѣ *M* какъ бы не существующей.

IV-й поясъ.

1. Малая подпружная арка *M*. Предположимъ, что грузъ, переходящій на эту арку нами опредѣленъ, причемъ оказалось, что грузъ половины самой арки съ надбуткой равенъ 3787 пудамъ; грузъ четверти коробчатаго свода *C* равенъ 287 пудамъ; грузъ остальныхъ частей 1283 пуда, всего $3787 + 287 + 1283 = 5357$ пудовъ.

Поверхность полуарки въ горизонтальномъ сѣченіи равна $11,5 \times 5,6$ кв. футамъ, слѣдовательно, диаграмма нагрузки выразится горизонтальной линіей на высотѣ отъ надбутки арки въ $\frac{5357 - 3787}{11,5 \times 5,6 \times 3} = 8,14$ фута. Раздѣляя арку на элементы и опредѣляя распоры, найдемъ его равнымъ 4269 пудамъ, причемъ прочность и устойчивость арки вполнѣ гарантированы, если материалъ обладаетъ сопротивленіемъ не менѣе 3 пудовъ на 1 кв. дюймъ.

2. Устойчивость и прочность пилона. Имѣя распоры всѣхъ сводчатыхъ покрытий церкви, приступаемъ къ опредѣленію устойчивости опорныхъ частей, т. е. стѣнъ и столбовъ. Если обратимъ вниманіе на все сказанное объ устояхъ въ § 17—23, то приходимъ къ заключенію, что для данного случая мы можемъ рассматривать пилонъ и наружную стѣну или какъ опору двойную или какъ опору сложную. Очевидно, что если мы будемъ рассматривать пилонъ независимо отъ стѣнъ, какъ опору простую монолитную, то пилонъ будетъ устойчивъ во всякомъ случаѣ; но если при этомъ разсмотрѣніи окажется, что пилонъ, взятый независимо отъ стѣны, неустойчивъ, то это еще не показываетъ, что онъ на самомъ дѣлѣ не будетъ въ равновѣсіи, ибо его поддерживаетъ боковая стѣна, благодаря значительной высотѣ кладки стѣнъ надъ аркой *M*. Въ практикѣ обыкновенно принято разсчитывать пилоны независимо отъ стѣнъ, и только, когда они окажутся неустойчивыми, принимаютъ во вниманіе стѣны, служащіе опорами пилону. Отъ такого порядка разсчетъ почти не усложняется, такъ какъ полученные усилия будутъ притяты во вниманіе при разсчетѣ всѣхъ устоевъ въ качествѣ сложныхъ опор.

Этому же порядку будемъ слѣдовать и мы при дальнѣйшемъ изложеніи.

Итакъ, мы имѣмъ пилонъ и должны разсмотрѣть, гдѣ проходитъ равнодѣйствующая всѣхъ усилий и ка-

кой величины эта равнодействующая. Пуще всего достигнуть цели можно тем, что складываем сначала все грузы, переходящие на пилон, а затем все распоры, и уже тогда складываем равнодействующую всех распоров и всех грузов, полученная отдельно.

Соберем сначала все грузы. Они суть следующие:

1) Грузъ самого пилона начиная от линии ih до линии fg ; грузъ этот равен объему, умноженному на 3 пуда. Объемъ пилона равенъ площади сечения, умноженной на высоту; при площади въ 136,25 кв. футовъ и высотѣ 18 футовъ объемъ равенъ $18 \times 136,25 = 2424$ куб. фута, что даетъ грузъ $2424 \times 3 = 7272$ пуда.

Точно также найдемъ грузъ части пилона между линиями ih и km , причемъ этотъ грузъ равенъ 15535 пудамъ, такъ что весь грузъ пилона равенъ $7272 + 15535 = 22807$ пудамъ.

Центръ тяжести пилона можно найти графически; для этого определяемъ центръ тяжести сечений; онъ находится на расстояніи 10,50 фута отъ наружного ребра плана пилона; моментъ этого груза будетъ, следовательно, $22807 \times 10,50 = 239473$ пудофута.

2) Грузъ $\frac{1}{4}$ части главнаго барабана съ купольнымъ сводомъ и желѣзнымъ покрытиемъ до линии паруса составляетъ всего $\frac{115393}{4} = 28825$ пудовъ. Центръ тяжести этого груза находится въ центрѣ лути $\frac{1}{4}$ круга въ планѣ, считая кругъ по средней линии барабана; центръ тяжести $\frac{1}{4}$ окружности, какъ известно (Ч. I, § 26), находится на расстояніи 0,97 отъ центра или $\frac{1}{3}$ стрѣлки дуги (отъ хорды), а потому центръ тяжести нашего барабана будетъ на расстояніи 19,00 футовъ отъ линии наружнаго ребра пилона. Моментъ груза, следовательно, равенъ $28825 \times 19 = 547675$ пудофутамъ.

3. Грузъ паруса, равный 780 пудамъ; центръ тяжести отъ наружного ребра на расстояніи 18,00 футовъ. Моментъ будетъ $780 \times 18 = 14040$ пудофутовъ.

4) Грузъ стѣночкъ въ видѣ заплечиковъ, равный $2 \times 3 \times 24 \times 4 \times 2,5 = 1440$ пудамъ, при плечѣ груза 2,5 фута; моментъ $1440 \times 2,5 = 3600$ пудофутовъ.

5) Грузъ двухъ половинъ главныхъ подпружныхъ арокъ съ надлукой до линии fg равенъ 3779 пудамъ; при плечѣ 15,0 футовъ имѣемъ моментъ $3779 \times 15 = 56685$ пудофутовъ.

Что касается остальныхъ грузовъ, то въ виду развиваемаго ими распора они будутъ въ пользу устойчивости пилона; но мы ихъ не будемъ принимать пока во вниманіе и предположимъ, что весь куполь церкви какъ бы стоитъ на пилонахъ и все остальное отброшено.

Переходя къ определенію распоровъ, мы замѣтимъ, что распоръ главнаго купольного свода и паруса предположено уничтожить связями, следовательно, остается распоръ главной подпружной арки, равный 10240 пудамъ или по диагонали равный

$$10240 \times \sqrt{2} = 14336 \text{ пудамъ;}$$

плечо распора до пола церкви равно 52,60 футамъ, а потому моментъ будетъ $14336 \times 52,60 = 754073$ пудофута. Сумма моментовъ грузовъ равна

$$239473 + 547675 + 14040 + 3600 + 56685 = 861473 \text{ пудо-футамъ.}$$

Коэффиціентъ устойчивости равенъ

$$\frac{861473}{754073} = 1,14,$$

что хотя достаточно для равновѣсія вообще, но согласно сказанному выше (Ч. I, § 10б) недостаточно для устойчивости сооруженія.

Если бы мы вмѣсто того, чтобы вычислять моменты всѣхъ грузовъ и распоровъ, нашли графически равнодействующую ихъ, то увидали бы, что равнодейству-

ющая сила пересѣкаетъ площадь основанія пилона очень близко отъ наружного края и напряженіе материала вслѣдствіе этого весьма велико, изъ чего заключаемъ, что пилонъ самъ по себѣ безъ помощи боковыхъ частей устойчивымъ и прочнымъ быть не можетъ.

3. Устойчивость до линіи *km* вообще. Въ виду этого, мы должны дополнить уже сдѣланное разсчетомъ устойчивости боковыхъ частей. Если мы съ этой цѣлью начнемъ рассматривать планъ, то увидимъ, что боковые стѣны имѣютъ весьма большое сопротивленіе опрокидыванію, а потому безъ дальнѣйшаго разсчета могли бы признать церковь вполнѣ устойчивой и прочной до линіи *km*.

Профѣримъ такое заключеніе. Кромѣ распора главной подпружиной арки, будетъ существовать распоръ малой подпружиной арки по диагонали $4269 \times \sqrt{2} = 6000$ пудовъ съ плечомъ 27,6 фута, который взаимно уничтожается; распоръ крестового свода 54 пуда съ плечомъ 44 фута, также взаимно уничтожается; распоръ коробчатаго свода $704 \times \sqrt{2} = 992$ пуда, съ плечомъ 51,60 фута; распоръ боковой арки, равный по диагонали $3170 \times \sqrt{2} = 4438$ пудамъ, съ плечомъ 52 фута. Итого распоровъ, опрокидывающихъ одновременно всю четверть церкви между двумя перпендикулярными осами, будетъ

$$14336 + 992 + 4438 = 19766 \text{ пудовъ},$$

такъ какъ распоръ полукупольного свода уничтоженъ связью.

Сумма моментовъ будетъ:

$$14336 \times 52,60 + 992 \times 51,60 + 4438 \times 52 = 754073 + 50836 + 230776 = 1035705 \text{ пудофутовъ},$$

а общее плечо

$$\frac{1035705}{19766} = 52,3 \text{ фута.}$$

Всѣхъ грузовъ будетъ: грузъ пилона 22807 пудовъ; грузъ четверти главнаго барабана 28825 пудовъ; грузъ паруса 780 пудовъ; грузъ стѣночка 1440 пудовъ; грузъ подпружинъ аркты 3779 пудовъ; грузъ коробчатаго свода 1150 пудовъ; грузъ крестоваго свода 308 пудовъ; грузъ полукупольного свода 1915 пудовъ; грузъ боковой арки 760 пудовъ; грузъ верхнихъ частей угловой части 12949 пудовъ; вѣсъ желѣзного полукупольного покрытия 427 пудовъ; грузъ малой подпружиной арки 3787 пудовъ; грузъ стѣнъ и остальныхъ частей четверти церкви 89915 пудовъ; а всего въ сѣченіи *km* 175688 пудовъ.

Площадь сѣченія стѣнъ и пилона равна 580 кв. фута, такъ что среднее давленіе равно

$$\frac{175688}{580 \times 12^2} = 2,1 \text{ пуда на 1 кв. дюймъ.}$$

Имѣя центры тяжести всѣхъ грузовъ, легко найдемъ сумму моментовъ грузовъ; положимъ, что общее плечо всего груза нами опредѣлено графически и равно отъ наружной линіи 25 футамъ. Тогда моментъ грузовъ будетъ:

$$175688 \times 25 = 4392200 \text{ пудофутовъ.}$$

Общий моментъ распоровъ равенъ 1.035705 пудофутамъ, слѣдовательно, коэффиціентъ устойчивости будетъ:

$$\frac{4392200}{1.035705} = 4,2.$$

Это показываетъ, что устойчивость церкви вполнѣ гарантирована, если можно считать за одно цѣлое всю четверть устоевъ церкви.

Опредѣляя графически мѣсто, где проходитъ окончательная равнодѣйствующая всѣхъ силъ, мы увидѣли бы, что эта равнодѣйствующая почти совпадаетъ съ цен-

тромъ тяжести съченія четверти церкви, а слѣдовательно, давленіе будетъ равномѣрное, равное 2,1 пуда на 1 кв. дюймъ.

Такимъ образомъ можно принять доказаннымъ, что церковь наша до съченія *km* будетъ вполнѣ устойчивой и прочной, если будуть выполнены всѣ указанныя выше условія, т. е. будутъ заложены, гдѣ слѣдуетъ, связи, будетъ употребленъ на кладку главныхъ арокъ материалъ съ прочнымъ сопротивленіемъ не менѣе 7 пудовъ на 1 кв. дюймъ и т. д.

Примѣчаніе. Не всегда, однако, мы имѣемъ право считать всѣ части четверти церкви за сложную опору, такъ какъ рѣдко бываетъ такъ, что надъ малой аркой имѣется достаточной величины кладка и, кроме того, не всегда малая арка находится такъ низко сравнительно съ главной аркой. Поэтому во всѣхъ случаяхъ, когда не выполнены означенныя условія, слѣдуетъ считать церковь неустойчивой, если недостаточно устойчивъ будеть пилонъ, рассматриваемый отдельно отъ остальныхъ частей.

V-й поясъ.

Остается намъ перейти къ опредѣленію устойчивости постѣнного пояса, т. е. отъ линіи *km* до линіи подошвы фундамента *on*.

Выше мы сказали, что самымъ важнымъ съченіемъ при разсчетѣ церкви слѣдуетъ считать съченіе на высотѣ пола церкви; это потому, что начиная съ пола церкви, можно произвольно увеличивать толщину устоевъ, которые будутъ въ подвалѣ или прямо въ грунтѣ. Но опредѣленіе величины давленія на подошву основанія также чрезвычайно важно, такъ какъ необходимо проектировать подошву фундамента такой ширины, чтобы давленіе на 1 кв. дюймъ не превосходило постояннаго сопротивленія грунта, на которомъ возводится данное сооруженіе.

Изъ этого вытекаетъ необходимость къ полученной для съченія *km* равнодѣйствующей силѣ приложить еще грузъ фундаментовъ.

Положимъ, что площадь основанія фундамента нами опредѣлена и равна 1796 кв. футамъ, и грузъ фундамента 71840 пудовъ. Тогда весь грузъ, переходящій на подошву фундамента, будетъ $175688 + 71840 = 247528$ пудовъ. При равномѣрномъ давленіи на грунтъ на одинъ квадратный дюймъ приходится грузу всего

$$\frac{247528}{1796 \times 144} = \frac{247528}{258624} = 0,9 \text{ пуда.}$$

Очевидно, если грунтъ обладаетъ постояннымъ сопротивленіемъ болѣе 0,9 пуда на 1 кв. дюймъ, то устойчивость гарантирована. Иначе слѣдуетъ или уширить основаніе фундамента или уплотнить грунтъ искусственно.

Не всегда, конечно, давленіе на основаніе будетъ равномѣрное или, иначе говори, не всегда равнодѣйствующая всѣхъ силъ будетъ совпадать въ съченіи отъ центромъ тяжести площади основанія, а потому, въ тѣхъ случаяхъ, когда равнодѣйствующая пересѣкаетъ площадь основанія вѣтъ центра тяжести этой площади, наибольшее давленіе на грунтъ опредѣляется по правилу Мора (Ч. I, § 68).

Примѣчаніе I-е. Давленіе на грунтъ должно быть всегда равномѣрное, такъ какъ иначе край фундамента съ наибольшимъ давленіемъ будетъ садиться больше, и опора получитъ вращеніе. Это особенно важно въ тѣхъ случаяхъ, когда фундаментъ не представляетъ сомкнутой массы, т. е. когда въ фундаментѣ эта неравномѣрная осадка не будетъ происходить во всѣ стороны и не будетъ уничтожать сопротивленіемъ кладки разрыву. Такой случай бываетъ, напримѣръ, въ мостовыхъ быхахъ. Здѣсь наибольшая осадка будетъ около наружнаго ребра, ближайшаго къ точкѣ, гдѣ проходитъ равнодѣйствующая всѣхъ силъ.

Вслѣдствіе этого при раскружилии арокъ опора (или быкъ) получаетъ нѣкоторое вращеніе до тѣхъ поръ, пока сопротивленіе грунта не возрастетъ вслѣдствіе сжатія и не уравновѣситъ величину осадки. Очевидно, что такое равновѣсіе можетъ и не состояться.

Въ гражданскихъ сооруженіяхъ и особенно въ церквяхъ наружные стѣны обходять всѣ помѣщія и связаны между собою, а потому, если одна половина арки, напримѣръ, даетъ равнодѣйствующей направлѣніе, близкое къ сѣверному краю фундамента, то другая половина дастъ направлѣніе ближе къ южному краю; восточная же и западная стѣна связываютъ между собою южную и сѣверную и какъ бы уничтожаютъ возможность вращенія въ разныя стороны. Этимъ объясняется тотъ фактъ, что во многихъ зданіяхъ получаемая по расчету равнодѣйствующая близь наружного ребра фундамента производить давленіе равнодѣйное.

Примѣчаніе II-е. Хотя равнодѣйствующая сила есть сила наклонная, мы при опредѣленіи прочности материала или давленій на грунтъ принимаемъ не величину этой равнодѣйствующей, а величину одной вертикальной составляющей, т. е. только грузы. Это потому, что распоръ въ данномъ случаѣ предполагается уничтоженнымъ тренiemъ материала.

Заключеніе. Сопоставляя все изложенное выше, приходимъ къ слѣдующемъ выводамъ относительно по ряда, въ какомъ производится расчетъ, и цѣли этого расчета.

I. Всякій расчетъ устойчивости и прочности имѣть цѣлью опредѣлить наибольшее напряженіе материала при дѣйствіи извѣстныхъ намъ силъ для того, чтобы по этому напряженію мы могли судить о прочности сооруженія. Опредѣленіе напряженія материала для

разныхъ видовъ конструкцій очень различно; такъ, для опредѣленія напряженія частей фермы необходимо сначала найти продольные напряженія и затѣмъ напряженіе отъ прогиба; при каменныхъ столбахъ необходимо опредѣлить напряженіе въ зависимости отъ неравнодѣйствующего сжатія и т. д.

II. Для послѣдовательности и во избѣженіе повторенія вскій расчетъ частей сооруженія начинается сверху, а не наоборотъ, причемъ, если зданіе высокое и можетъ быть раздѣлено горизонтальными плоскостями на пояса, устойчивость и прочность которыхъ не зависятъ отъ нижележащихъ частей, то разсчитать по поясамъ является наиболѣе простымъ и нагляднымъ. Такъ какъ главными силами, дѣйствующими въ какой либо постройкѣ, являются вѣса различныхъ частей сооруженія, то необходимо сначала разсчитывать такія части, въ которыхъ имѣть посторонней нагрузки; такъ, напримѣръ, своды данного пояса разсчитываются раньше арокъ; стропила раньше стѣнъ и т. д.

III. Опредѣливъ устойчивость и прочность различныхъ частей сооруженій, необходимо приступить къ опредѣленію устойчивости и прочности цѣлаго сооруженія. Дѣло въ томъ, что всѣ отдѣльные части могутъ быть совершенно устойчивы сами по себѣ, но въ связи съ другими частями устойчивость ихъ можетъ оказаться недостаточной; такъ, напр., купольный сводъ до пять вполнѣ устойчивъ и проченъ; стѣны же, поддерживающая этотъ сводъ, вслѣдствіе дѣйствія на нихъ распора свода, могутъ быть неустойчивыми. При опредѣленіи устойчивости цѣлаго сооруженія, состоящаго изъ отдѣльныхъ частей, развивающихъ извѣстныя силы, необходимо поэтому принимать во вниманіе не только равновѣсіе каждой части, но тѣ измѣненія въ расположеніи усилий, какія являются слѣдствіемъ уравновѣшиванія силъ отдѣльныхъ частей! Такъ напримѣръ, если мы имѣемъ арку, у которой распоръ уничтоженъ связью, то, принимая при опредѣленіи устойчивости всего

сооружения грузъ этой арки за известную силу, необходимо вмѣстѣ съ тѣмъ принять во вниманіе, что центръ тяжести (вѣрхнѣе: центръ давленія) этого груза не остается на прежнемъ мѣстѣ, а переносится въ точку приложеній связи, употребленной для уничтоженія распора, т. е. въ ту точку, где равнодѣйствующія силь разложены на составляющія (грузъ и распоръ), изъ которыхъ одна уравновѣшивается связью, а другая будетъ дѣйствовать дальше одиноко.

IV. Всякая наружная опора, если только она устойчива сама по себѣ, будетъ сопротивляться распору, переходящему непосредственно на внутреннюю опору; но не всякая наружная опора, будучи устойчивой, можетъ принять на себя часть груза отъ внутренней опоры. Для второго случая необходимо, чтобы равнодѣйствующая распора и грузъ отъ средней опоры образовала съ грузомъ и распоромъ дѣйствующей на наружную опору кривую давленія, не выходящую нигдѣ изъ предѣловъ кладки, какъ то мы видѣли при конрафорсныхъ аркахъ. Въ виду этого при определеніи устойчивости сложныхъ опоръ, необходимо примѣнять тройное определеніе устойчивости, а именно, надо опредѣлить:

1) будетъ ли устойчивой внутренняя опора (напр. пilonъ) независимо отъ устойчивости наружной; если да то опора эта устойчива вѣтъ всякаго сомнѣнія, только бы сохранились при ней условія, при которыхъ она устойчива,

2) будетъ ли устойчивой наружная опора независимо отъ устойчивости внутренней опоры; если да, то опора эта устойчива вѣтъ всякаго сомнѣнія, только бы была устойчива и внутренняя опора;

3) Если наружная опора сама по себѣ устойчива, но не устойчива внутренняя опора, то нельзя определенно сказать относительно устойчивости всего сооруженія, если не будетъ проверена устойчивость обѣихъ опоръ, вмѣстѣ, т. е. необходимо принять внутреннюю и наружную опору за одно цѣлое съ пустотами въ соотвѣтственныхъ частяхъ.

Сооруженіе будетъ устойчивымъ, если наибольшее напряженіе матеріала сложной опоры равно или больше средн资料 напряженія внутренней опоры въ тѣхъ же точкахъ; въ противномъ случаѣ необходимо провѣрить величину груза, переходящаго на наружную опору отъ средней.

V. Опредѣливъ устойчивость и прочность сооруженія до какого либо горизонтального сѣченія, напр. до пола, переходимъ къ определенію устойчивости сначала сводовъ и арокъ нижележащей части (подвала) и затѣмъ уже стѣнъ этихъ частей, причемъ усилия верхнихъ частей выражаются равнодѣйствующими, проходящими черезъ извѣстныя точки сѣченія.

Найдя всѣ горизонтальные и вертикальные усиленія, складываютъ ихъ съ прежде найденными равнодѣйствующими и такимъ образомъ получаютъ новыя равнодѣйствующія уже для другого сѣченія. Опредѣливъ аналогично устойчивость и прочность каждого пояса, приступаютъ, наконецъ, къ определенію устойчивости фундамента. Здѣсь же прибавляется два совершенно новыхъ обстоятельства. Во-первыхъ, слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что грунтъ даетъ осадку пропорциональную нагрузкѣ, и потому, если давленіе подъ всѣмъ зданіемъ не будетъ равнодѣйствующимъ, то одна часть зданія дастъ большую осадку, чѣмъ другая, что можетъ повлечь за собою образование трещинъ, нарушеніе перевязи въ камняхъ и, въ концѣ концовъ, нарушеніе равновѣсія всего сооруженія. Во-вторыхъ, слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что сопротивленіе грунта осадкѣ значительно меньше сопротивленія матеріала кладки раздробленію; поэтому, опредѣляя размѣры фундамента только въ зависимости отъ прочности, мы получили бы осадку настолько значительной, что зданіе стало бы замѣтно углубляться въ грунтъ; въ виду этого основаніе фундамента необходимо опредѣлить не въ зависимости отъ прочнаго сопротивленія камня, а въ зависимости отъ сопротивленія грунта. Кроме того

при опредѣлениі кривой давленія въ фундаментѣ необходимо принимать во вниманіе напоръ грунта снаружи, если поль подвала значительно ниже поверхности земли.

VI. Что касается до способовъ разсчета, аналитического и графического, то послѣдній будеть всегда предпочтительнѣе первого по своей наглядности; только въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется особая точность, напр., при опредѣлении коэффицента устойчивости близкаго къ предѣлу, т. е. близкаго къ 1, 4—1, 5, лучше брать моменты каждой силы въ отдѣльности, не складывая силъ посредствомъ веревочнаго многоугольника.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда нагрузка сводовъ или арокъ будетъ перемѣнной или подвижной, необходимо определить наибольшее напряженіе материала въ самый не-выгодный моментъ нагрузки, а также построить кривую давленія при наименѣи выгодныхъ условіяхъ распределенія усилий. Очевидно, для этихъ случаевъ полезно не только графическое построеніе, но и аналитическое изслѣдованіе вопроса.

VII. По окончаніи разсчета необходимо выяснить наиболѣе простые способы кладки тѣхъ или другихъ частей сооруженія, чтобы полученные разсчетомъ результаты болѣе или менѣе оправдались въ натурѣ. Различныя детали конструкцій окажутъ большую услугу при производствѣ работъ тѣмъ, что не придется опрометчиво сдѣланное распоряженіе отменять, убѣдившись въ несостоятельности этого распоряженія въ натурѣ.

95. Арки и своды специального назначения.

Изъ изложеннаго выше видимъ, что толщина арокъ и сводовъ находится въ тѣсной зависимости не только отъ величины перекрываемаго пространства, но и отъ величины нагрузки, а въ военной архитектурѣ также отъ величины удараў, которымъ своды могутъ быть подвержены при стрѣльбѣ изъ орудій. Отсюда является

цѣлый рядъ специальныхъ правилъ для проектированія сводовъ вообще. Приведенные до сихъ порт примѣры разсчета относятся исключительно къ сводамъ и аркамъ гражданскихъ сооруженій: церквей, театровъ, музеевъ и т. д. Что же касается до сооруженій военного характера и мостовъ, то приводимъ слѣдующія данныя.

Обозначая черезъ e толщину у замка и черезъ r радиусъ внутренней кривой полуциркульного свода или радиусъ круга, проходящаго черезъ пяты и вершину внутренней кривой, необходимо толщину сводовъ дѣлать не менѣе нижеслѣдующей величины *).

I. Для сводовъ, сопротивляющихся ударамъ бомбъ:

$$e = 12 + \frac{r}{8} \text{ вершк.}$$

II. Прочныхъ (мостовыхъ, подземныхъ и т. д.):

$$e = 9 + \frac{r}{12} \text{ вершк.}$$

III. Среднихъ (обыкновенныхъ зданій, магазиновъ):

$$e = 4\frac{1}{2} + \frac{r}{22} \text{ вершк.}$$

IV. Легкихъ (безъ груза наверху):

$$e = 2\frac{1}{4} + \frac{r}{48} \text{ вершк.}$$

Такъ какъ своды по дугѣ круга тѣмъ болѣе жестки, чѣмъ менѣе ихъ выносъ, то вліяніе на нихъ постоянныхъ усилий уменьшается вмѣстѣ съ уменьшеніемъ ихъ выноса. Кромѣ того, въ нихъ сжатіе клиньевъ часто менѣе, нежели въ полуциркульныхъ сводахъ, при одинаковомъ радиусѣ, потому что въ первыхъ часть свода, производящая горизонтальное давленіе, менѣе, нежели въ послѣдніхъ; поэтому обыкновенно

*) Паукерь: «Строительная механика»,—1891 г.

уменьшают въ вышеприведенныхъ формулахъ коэффиціентъ радиуса дуги круга вмѣстѣ съ уменьшениемъ выноса. Когда вся дуга внутренней кривой соотвѣтствуетъ углу при центрѣ между 100° и 120° , то безъ опасенія можно уменьшить коэффиціентъ радиуса до половины и болѣе, если центральный угол еще меньше. Такимъ образомъ для дугъ круга въ 100° и до 120° , т. е. съ выносомъ отъ $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{3}$ отверстія, можно взять:

V. Въ сводахъ противъ бомбъ:

$$e = 12 + \frac{r}{16} \text{ вершк.}$$

VI. Прочныхъ:

$$e = 9 + \frac{r}{24} \text{ вершк.}$$

VII. Среднихъ:

$$e = 4^{1/2} + \frac{r}{48} \text{ вершк.}$$

VIII. Легкихъ:

$$e = 2^{1/4} + \frac{r}{96} \text{ вершк.}$$

Какъ видно, эти формулы не принимаютъ въ разсчетъ ни длины свода, ни качества и сопротивленія материала; определенный по нимъ толщиной слѣдуетъ рассматривать, какъ средній между толщинами, которыхъ практики принимали въ подобныхъ случаяхъ.

Дуга, проходящая черезъ пяты и вершину внутренней кривой, обыкновенно задается по выносу и отверстію свода. Если изобразить черезъ l половину отверстія и чрезъ f выносъ, то радиусъ дуги найдется по формулѣ:

$$\text{IX } r = \frac{f + l}{2r}$$

Къ этимъ эмпирическимъ формуламъ, взятымъ изъ сочиненія Мишона, можно прибавить еще нѣкоторыя другія. Извѣстное правило Пероне для опредѣленія толщины замка въ прочныхъ сводахъ выражается слѣдующею формулой:

$$\text{X } e = 1 \text{ футу} + \frac{5d}{144}$$

гдѣ d изображаетъ диаметръ дуги, занимающей верхнюю часть внутренней кривой, описанной изъ нѣсколькихъ центровъ, или диаметръ всей кривой, если она описана изъ одного центра. При трехцентровыхъ коробовыхъ линіяхъ диаметръ d верхней дуги получается по формулѣ:

$$\text{X' } d = (3 + \sqrt{3})l - (1 + \sqrt{3})f.$$

При постройкѣ каменныхъ мостовъ для желѣзныхъ дорогъ въ Ганноверѣ, инженеры держались слѣдующихъ эмпирическихъ формулъ.

Для сводовъ полуциркульныхъ и по дугѣ круга съ выносомъ не менѣе $\frac{1}{3}$ отверстія, при кладкѣ изъ прочнаго кирпича:

$$\text{XI } e = \frac{3}{4} \text{ фута} + \frac{l}{8} = 5 \text{ вершк.} + \frac{l}{8},$$

а при кладкѣ изъ тесаннаго камня:

$$\text{XII } e = \frac{3}{4} \text{ фута} + \frac{l}{16} = 5 \text{ вершк.} + \frac{l}{16}.$$

Для сводовъ по дугѣ круга съ выносомъ отъ $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{6}$ отверстія, при кирпичѣ:

$$\text{XIII } e = \frac{3}{4} \text{ фута} + \frac{l^2}{12f} = 5 \text{ вершк.} + \frac{l^2}{12f}$$

а при тесанномъ камнѣ:

$$\text{XIV. } e = \frac{3}{4} \text{ фута} + \frac{l^2}{24f} = 5 \text{ вершк.} + \frac{l^2}{24f}$$

Если же надъ сводомъ находилась земляная насыпь, которой толщина надъ замкомъ превосходить 4 фута, то толщина свода увеличивалась сообразно грузу земли. Своды эти покрывались забуткою, верхняя плоскости которой были касательны къ наружной дугѣ свода и имѣли наклоненіе къ горизонту не менѣе, нежели въ $\frac{1}{6}$ -ую.

Для облегченія сравненія этихъ формулъ между со-бою, помѣстимъ здѣсь нѣсколько примѣровъ. Для полу-циркульного свода діаметромъ въ 3 сажени найдется по формуламъ I, II, III и IV:

для сопротивленія ударамъ бомбъ. . . (I)	$e=21$	вершк.
для прочнаго свода. (II)	$e=15$	"
для средняго свода. (III)	$e=7\frac{1}{2}$	"
для легкаго свода (IV)	$e=3\frac{3}{4}$	"

Кромѣ того, для прочнаго свода найдется по правилу Пероне (Х), $e=12$ вершк. и по формуламъ Ганноверскихъ инженеровъ: $e=14$ вершк. при кирпичѣ и $e=12$ вершк. при тесанномъ камнѣ.

Для свода по трехцентровой коробовой линіи съ отверстиемъ въ 4 саж. и выносомъ въ $\frac{1}{4}$ отверстія найдется по формулѣ (IX) радиусъ дуги, проведенной чрезъ вершину и пяты внутренней кривой, въ $2\frac{1}{2}$ саж., а слѣдовательно:

для сопротивленія ударамъ бомбъ. . . (I)	$e=27$	вершк.
для прочнаго свода. (II)	$e=19$	"
для средняго свода. (III)	$e=9\frac{1}{2}$	"
для легкаго свода (IV)	$e=3\frac{3}{4}$	"

А такъ какъ по формулѣ (Х') діаметръ верхней дуги

будеть въ $6\frac{3}{4}$ сажени или въ 324 вершка, то по правилу Пероне найдется для прочнаго свода $e=18\frac{1}{4}$ вершк.

Для свода по дугѣ круга съ отверстиемъ 4 саж. и выносомъ въ $\frac{1}{4}$ отверстія получится по формулѣ (IX) величина его радиуса въ $2\frac{1}{2}$ сажени и

для сопротивленія ударамъ бомбъ. (V) $e=19\frac{1}{2}$ вершк.

для прочнаго свода. (VI) $e=14$ "

для средняго свода (VII) $e=7$ "

для легкаго свода (VIII) $e=3\frac{1}{2}$ "

Для прочнаго свода по правилу Пероне $e=15\frac{1}{3}$ вершк.

По формуламъ Ганноверскихъ инженеровъ:

для кирпичнаго свода. $e=21$ вершк.

для свода изъ тесаннаго камня. $e=13$ "

Изъ приведенныхъ формулъ легко усмотрѣть стремленіе выразить зависимость между толщиной свода и пролетомъ, а также зависимость между толщиной опоръ и высотой ихъ, причемъ для вывода формулы служить не теоретическія данныя объ устойчивости сооружений, а изслѣдованіе существующихъ много лѣтъ сооружений, возведенныхъ на основаніи опытовъ. Такая искусственность въ созданіи этихъ формулъ, очевидно, лишаетъ ихъ дѣйствительной цѣлности, и потому формулы эти нужно принимать лишь какъ приближительныя, могущія служить для сравненія результатовъ болѣе точныхъ расчетовъ съ построениемъ линій давленія и для обнаружения грубыхъ случайныхъ ошибокъ въ по-слѣднихъ.

Кромѣ приведенныхъ существуетъ для той же цѣли много другихъ таблицъ и формулъ *). Ниже (Ч. IX) нами приводятся между прочими таблицы, могущія съ пользою быть примѣненными на практикѣ для зданій гражданской архитектуры.

*.) Недзялковскій: „Собрание таблицъ и формулъ“—1870 г.