

М. А. КУРЫШЕВ

Причальные сооружения для воздушных судов



ОНТИ 1936

Инж. М. А. КУРЫШЕВ

ПРИЧАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Под редакцией

проф. Д. Я. АКИМОВА-ПЕРЕТЦ

*Управлением учебных заведений
Гражданского воздушного флота
утверждено в качестве учебника*



ОНТИ НКТП СССР

Главная редакция авиационной литературы

Ленинград

1936

Москва

В книге разбираются процессы, связанные с работой воздухоплавательного корабля с воздуха, его обслуживания во время стоянки и приготовления к отправке в дальнейший полет. Из разбора технологического процесса, происходящего у причального сооружения, автор выводит основные размеры установок и сооружения.

Основная часть книги знакомит читателя с конструкциями и особенностями расчета пилонов причальных сооружений, давая как приближенные, так и точные методы расчета.

Основное назначение книги — учебник для слушателей факультета аэродромостроения ЛИИГВФ и пособие при проектировании сооружений для причала дирижаблей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс „Причалные сооружения для воздушных судов“ представляет собой часть общего курса специальных сооружений и оборудования аэропортов. Он составлен на основании материала лекций в Институте гражданского воздушного флота, для слушателей которого курс в основном и предназначен.

Указанное обстоятельство и определило как круг вопросов, охватываемых курсом, так и глубину их разработки.

В курсе даны только общие сведения из области механического оборудования, необходимые для определения конструктивных данных сооружения. Сведения, необходимые для проектирования механического оборудования, равно как и сооружений для стоянки корабля будут помещены в одной из следующих частей.

Учитывая то обстоятельство, что слушатели уже знакомы с курсом строительной механики, но еще не закончили курса металлических, деревянных и железобетонных конструкций, в книге освещаются только вопросы расчета конструкции в целом, но не ее отдельных деталей. Конструкции же основных деталей приведены по возможности более полно.

В конце книги приведен пример академического упражнения, центр тяжести которого лежит:

- 1) в определении основных, исходных условий проектирования, составляющих обычно содержание технических условий, и
- 2) в эскизной разработке одного из вариантов.

Последнее обеспечивает сознательный подход к выбору вариантов для разработки технического проекта.

Сооружений для причала дирижаблей выстроено всего несколько десятков, причем каждое из них своеобразно, поэтому построение общей теории этого дела затруднительно. В целях же лучшего освоения вопросов конструирования в конце книги приведена глава „Дополнительные сведения о причальных сооружениях“.

Надеюсь, что книга принесет свою долю пользы и инженерам работающим в области земного оборудования воздухоплавательных линий, указания которых на возможные недочеты в книге будут приняты автором с благодарностью и учтены при дальнейшей разработке вопроса.

М. А. Курьшев.

1. ОБЩИЙ ОЧЕРК

За последние годы выявилась вполне возможность использования дирижабля как транспортного средства в целом ряде областей хозяйственной деятельности. Был совершен ряд перелетов из Европы в Америку, осуществлен кругосветный перелет, при котором дирижабль L-Z—127 пролетел без спуска 11 500 километров.

Для изучения Арктики совершили полеты дирижабли Норвегия, Италия и L-Z—127, причем последний пробыл в воздухе 103 часа 25 мин. без остановки в базе (сделал всего лишь одну посадку на воду без помощи каких-либо земных средств).

Эти успехи воздухоплавания, несмотря на ряд неудач, привели к тому, что страны, имеющие у себя оборудование и необходимый для постройки кораблей опыт, продолжают развивать дирижаблестроение. Так, для сообщений между Европой и Южной Америкой оборудуются крупные базы, на смену L-Z—127 закончен постройки гигантский корабль L-Z—129.

Мягкие и полужесткие корабли имеют и строят очень многие страны.

Советский Союз имеет колоссальные пространства, связь с которыми земными средствами чрезвычайно затруднена, а в некоторые периоды даже невозможна. Связь с отдельными окраинами на самолетах возможна при условии оборудования довольно большого числа баз в этих районах.

Окончательное освоение Арктики и Северного морского пути может быть достигнуто только тогда, когда на это дело смогут быть направлены и дирижабли, имеющие возможность обходиться в течение длительного периода времени без посадки, а в некоторых случаях несущие на себе самолеты, для увеличения радиуса обслуживания.

Таким образом интересы хозяйственного освоения большой части нашей территории и приобщение малых народностей, ее населяющих, к общей культурной жизни страны привели к тому, что к настоящему моменту Советский Союз располагает некоторыми кадрами, освоившими технику производства и эксплуатации кораблей полужесткого типа.

Нашими конструкторами уже выполнен корабль В-6, объемом в 20 000 м³ и грузоподъемностью в 8,5 т. На очереди стоит постройка корабля в 50 000 м³ и переход к конструкциям каркасных кораблей по типу цепелинов или может быть кораблей Циолковского.

Для транспортной эксплуатации дирижаблей необходимо значительно меньшее количество земных баз, нежели для самолетов, но зато их оборудование сравнительно дорого и поэтому воздухоплавательные базы строятся только в местах, где корабль имеет продолжительные стоянки (конечные пункты). На линиях же организуются так называемые швартовые точки. Основным сооружением швартовой точки является сооружение для причала воздушного корабля.

Причал воздушного корабля непосредственно к земной поверхности представляет очень сложную операцию в силу того, что возможен удар относительно слабой конструкции корабля о землю, что при большой его массе влечет за собой поломку. Взяв вес корабля объемом 20000 м^3 приблизительно в 20 т и допустив, что относительная скорость его в момент остановки была 2 м/сек , а живая сила поглощена амортизатором на длине 1 м , все же получим, что сила удара равна:

$$\frac{20000 \cdot 2^2}{9,81 \cdot 2} = 4080 \text{ кг}.$$

Для больших кораблей эта сила значительно возрастет, тем более, что при причале непосредственно к земной поверхности гарантировать скорость подхода невозможно, так как причал происходит следующим образом: корабль, имея некоторый запас всплывной силы, силой тяги винтов при соответствующем положении рулей снижается. В некоторый момент командир корабля должен выключить моторы, и корабль, двигаясь по инерции, должен подойти к земле на руки команды. Ясно, что если моторы будут выключены рано, то корабль, потеряв живую силу, начнет всплывать и операцию придется начинать снова; если пропустить момент выключения моторов, то скорость, а следовательно и живая сила, будет настолько велика, что команда не удержит корабля и он разобьется. Не говоря уже о риске разбить корабль, этот способ требует многочисленной земной команды (50—200 человек), нужда в которой бывает очень непродолжительна, а в остальное время ее негде использовать. Эти неудобства устраняются механизированным причалом. Механические средства причала бывают корабельные и земные.

К средствам причала, переносимым самим кораблем, относятся всякого рода якоря, которыми корабль закрепляется за земную поверхность, а затем лебедками подтягивается к ней. Таким типом якорей был снабжен корабль L-Z—127 в своем полярном рейсе и посредством их он причаливал к поверхности океана. Эти якоря изображены на рис. 1. Они представляют собой полые сосуды с отверстиями в одной стороне, соединенные в цепь; попав в воду, они наполняются ею и удерживают корабль около поверхности. Для того чтобы отчалить, корабль выбирает цепь так, что сосуды перевертываются и вода из них выливается.

Для причала к суше якорей более или менее удовлетворительных еще не разработано, — для этой цели предпочитают возводить причальные сооружения. Характерным признаком причального сооружения является наличие у него механического причального приспособления, помещаемого на вершине сооружения.

Для безопасности, приспособления для причала поднимают на большую высоту, что ведет к усилению конструкции причальных сооружений; последние с увеличением размеров корабля превращаются из мачтовых конструкций в конструкции башенного типа, высотой до 60 м. На рис. 2 приведены наиболее известные из существующих причальных сооружений.

Причалное сооружение позволяет кораблю не только безопасно причалить, но и обеспечивает стоянку его. Стоянка корабля на высоком сооружении требует работы части команды для соблюдения горизонтальности оси корабля, и затрудняет работы по обслуживанию корабля; поэтому в последнее время появилось стремление к устройству специальных сооружений небольшой высоты, закрепляющих корабль за две точки и тем самым удерживающих его от колебаний в вертикальной плоскости.

Эти так называемые „низкие мачты“ или совсем не имеют причальных приспособлений или, если и имеют, то все же не обеспечивают безопасность причала в силу своей небольшой высоты.

Для соединения выгод обоих типов конструкций в США выстроено сооружение, телескопически выдвигающееся вверх во время причала и складывающееся для осуществления стоянки корабля (рис. 3). Для более полного использования сооружение поставлено на раму, закрепленную на специальных тракторах, которые могут передвигать все сооружение вместе с кораблем по полю и вводить последний в эллинг. Такого рода сооружение является последним словом техники в области сооружений для причала дирижаблей, но надобность в нем возникает только в конечных базах.

Во время стоянки корабля на причальном сооружении производится подготовка его к дальнейшему полету, т. е. снабжение его газом, горючим и другими эксплуатационными материалами, а также производятся пассажирские и грузовые операции. Для проведения всей этой работы необходимо иметь целый ряд дополнительных механических установок (насосы, лебедки, лифты) и помещений: пассажирские и служебные залы, склады горючего, газгольдеры и др.

Все это вместе взятое, в зависимости от географического положения и масштаба работы линии, превращает причальное сооружение швартовой точки в своего рода вокзал воздухоплавательных линий. Причалное сооружение в воздухобазе сохраняет за собой только функции непосредственного причала, так как стоянка и снабжение корабля может производиться в другом месте базы.

Воздухоплавательная база представляет собой целый комплекс

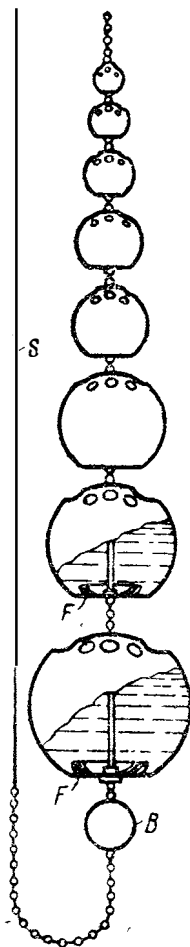


Рис. 1. Морские якоря.

B — груз, *S* — трос, идущий на лебедку, *F* — оболочка шара из легкого металла.

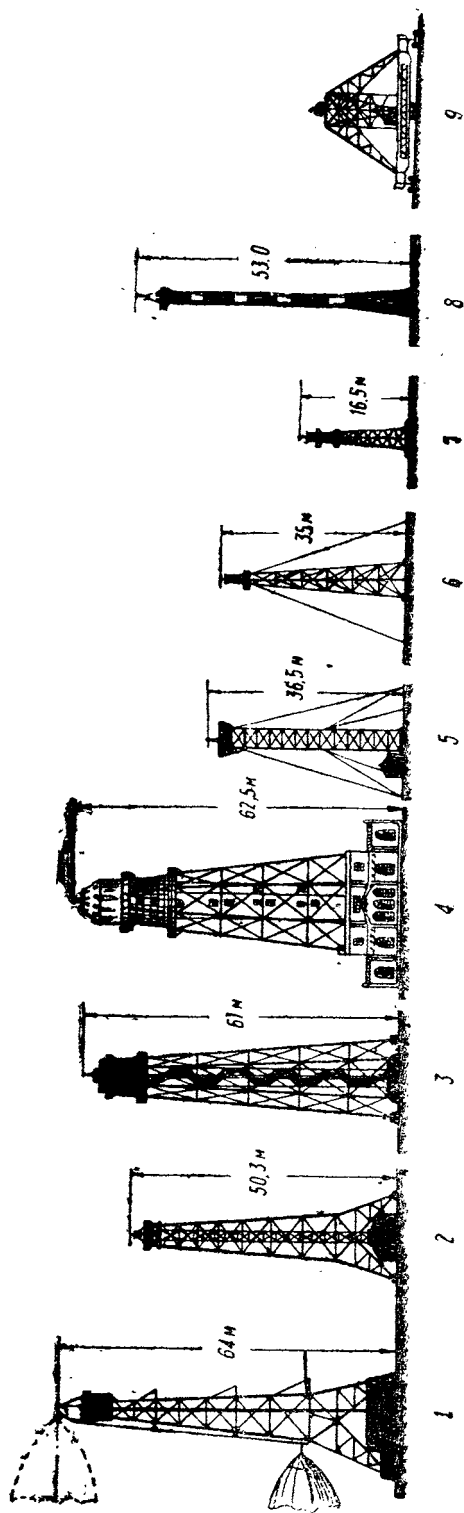


Рис. 2. Схемы существующих башен.

1 — башня в Детройте с устройством, подающим корабль к земле, 2 — башня в Лейкхерсте, 3 — башня в Кардингтоне, одна из серии башен, выстроенных на линии Англия — Австралия, 4 — башня в Монреале, 5 — мачта в Пульхеме, 6 — мачта в Чикаго, одна из серии мачт, установленных по пути перелета корабля "Норвегия" через "Северный полюс", 7 — мачта в Штаттене (Берлин), 8 — башня железобетонная на военном аэродроме в США, 9 — передвижное причальное сооружение (Акрон США).

сооружений, причем, в зависимости от класса воздушного порта, изменяется номенклатура сооружений, но, вне зависимости от класса, всегда сохраняется причальное сооружение с рядом тяготеющих к нему построек. На швартовой точке остается только указанная выше группа сооружений, сконцентрированная по возможности в одном месте, преимущественно в непосредственной близости к причальному сооружению.

Само причальное сооружение на любой базе размещается в центре летного поля, которое в настоящее время выбирается таких размеров, чтобы в него вписался круг, радиусом, равным двум длинам корабля; кроме этого, для полосы подходов должна быть отведена полоса шириной еще $2L$ (рис. 4). В этой полосе нельзя строить здания.

При использовании подвижных причальных сооружений, их всегда можно установить на границе летного поля (а не в центре), и тогда диаметр летного поля уменьшается вдвое.

К самому летному полю требования предъявляются значительно пониженные по сравнению с летным

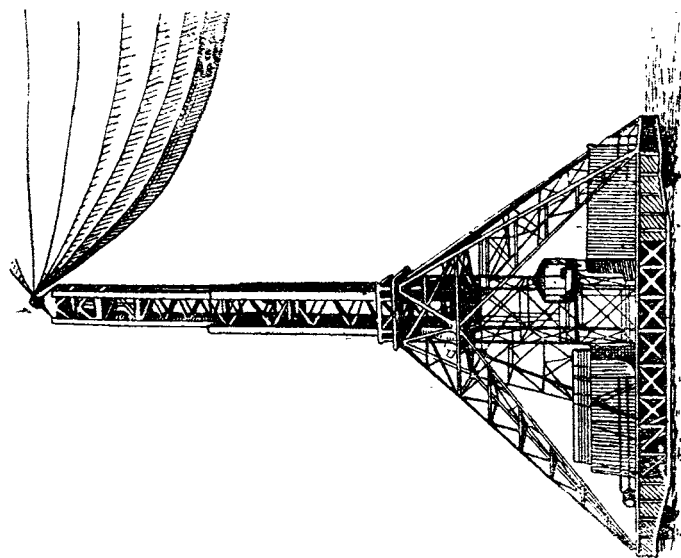


Рис. 3.

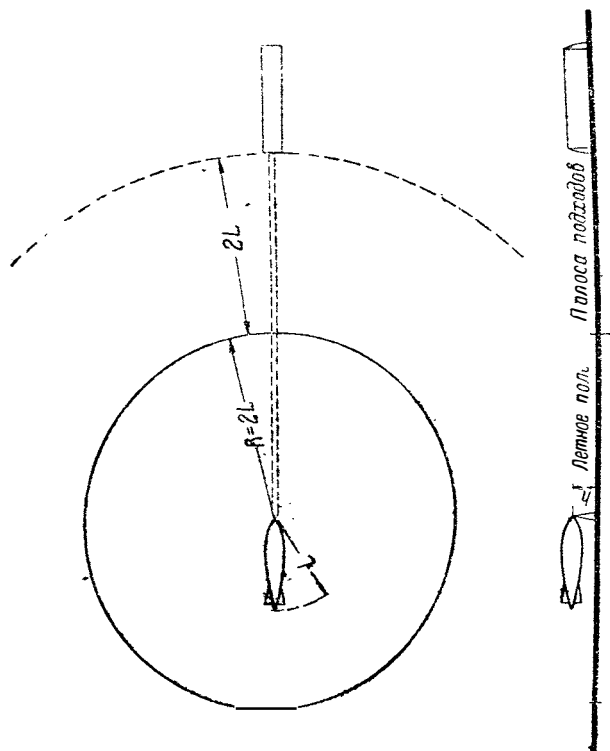


Рис. 4. Размеры летного поля.

полем аэродрома: уклоны могут быть допущены 0,04—0,05, поверхность должна иметь хорошую дернину.

Для перевода корабля с причального сооружения в эллинг строят специальные дорожки, особенно этого требуют механические средства подачи корабля в эллинг.

2. РАБОТА ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ

Механический причал и стоянка дирижабля

В задачу механического причала, кроме разобранного выше обеспечения сохранности корабля, входит уменьшение количества обслуживающего персонала и облегчение причала в любых условиях погоды.

В некоторых источниках¹ приводится следующая формула для определения численности команды, принимающей корабль:

$$N = Ku^{2/3} v^2; \quad (1)$$

если измерять объем u в m^3 , скорость ветра v — в километрах в час, то величина K будет равна $\frac{583}{10^6} = 0,000583$.

Высказанные здесь два дополнительных условия чрезвычайно важны для транспортных линий, потому что найти к моменту прибытия корабля 150—200 человек команды для его приема можно только в отдельных случаях.

Поставленные практикой задачи механического причала сводятся к следующему:

- 1) безопасность причала;
- 2) безотказность работы механизмов;
- 3) минимум обслуживающего персонала;
- 4) быстрота проведения операции причала.

Из современных систем механического причала наилучшей считается английская система.

Корабль, снижаясь до высоты 150—300 м, делает круг над летным полем и, заходя с подветренной стороны, бросает на землю трос, причем сбрасывание троса производится так, чтобы его конец упал вблизи конца троса длиной до 300 м, выпущенного через вершину башни. Обыкновенно конец троса башни снабжается каким-либо ярким флагом днем и светящейся лампочкой ночью. Люди, находящиеся на земле, сцепляют оба троса, устанавливая тем самым прямую связь дирижабля с причальным сооружением. Корабль продолжает двигаться вперед, а лебедки причального сооружения выбирают трос, который постепенно натягивается. Для того, чтобы в момент полного натяжения троса не произошло рывка, могущего повредить конструкцию корабля, скорость выбирания троса в этот момент должна возможно меньше отличаться от собственной скорости корабля. Когда трос натянется, корабль выключает моторы и сбрасывает часть балласта, поднимаясь так, что трос образует

¹ Aeronautical Engineering. Апрель—июнь 1928 г.

с вертикалью средний угол $\approx 30^\circ$. Этим обеспечивается большая безопасность для корабля во время третьего этапа причала — подтягивания корабля к причальному приспособлению.

Подтянуть корабль к причальному приспособлению на одном тросе невозможно, так как направление равнодействующей сил давления не совпадает с осью корабля и поэтому при укорачивании троса нос корабля начинает сильно „рыскать“ из стороны в сторону. Для обеспечения точного совпадения причальных частей корабля и сооружения, с корабля, на высоте 100—150 м, выбрасываются два боковых троса, которые пропускаются через блоки, установленные вокруг причального сооружения. Эти два троса образуют равнобедренный треугольник, причем их длину, работой лебедок сооружения, делают такой, что вершина треугольника обязательно совпадает с вершиной сооружения (рис. 9).

Чтобы корабль не задира л корму, из кормовой части тоже выбрасываются тросы, к которым прикрепляются грузы (цепи). Таким образом, выбирая главный трос, обеспечивают точное попадание причального устройства корабля в причальную воронку сооружения.

В последний момент скорость выбора троса очень мала (0,1—0,5) м/сек, но так как масса корабля велика, то внезапная остановка все же может вызвать аварию, а поэтому приспособление, закрепляющее корабль, снабжается амортизаторами различных типов.

Затем соединенный с причальным сооружением корабль закрепляется на сооружении, но так, чтобы все необходимые условия безопасной стоянки были соблюдены.

Эксплуатационные требования к сооружению, обеспечивающему стоянку, сводятся к следующему, — сооружение должно обеспечить:

- 1) полную или частичную защиту корабля от воздействия атмосферных влияний;
- 2) производство осмотра и мелкого ремонта;
- 3) производство пассажирских и грузовых операций;
- 4) производство операций подготовки корабля к дальнейшему полету;
- 5) отдых команде корабля.

Лучше всего все эти требования будут удовлетворены, если корабль будет введен в эллинг. Но, не говоря о большой стоимости эллинга, следует заметить, что эллингом корабль может воспользоваться только в редких случаях, дожидаясь по несколько дней благоприятной погоды для ввода. Поэтому, даже в конечных пунктах кораблю приходится стоять на сооружении для причала, в промежуточных же пунктах линии причальное сооружение обязательно обслуживает стоянку.

Задача защиты от атмосферных воздействий в этом случае сводится к тому, чтобы обезопасить конструкции корабля от действия бокового ветра. Для этого причальное сооружение так соединяется с кораблем, что последний имеет возможность вращаться около оси сооружения во все стороны. Стоянка корабля, когда он вра-

щается не только кругом сооружения, но может задира́ть и опускать корму; не дает возможности производить мелкий ремонт и не допускает отдыха всей команды.

Для закрепления корабля при стоянке от колебаний в вертикальной плоскости, причальное сооружение снабжается механизмами, позволяющими подавать корабль к земле. Поданный к земле корабль закрепляется кормой или еще какой-либо частью корпуса на тележках,двигающихся концентрически вокруг оси причаль-

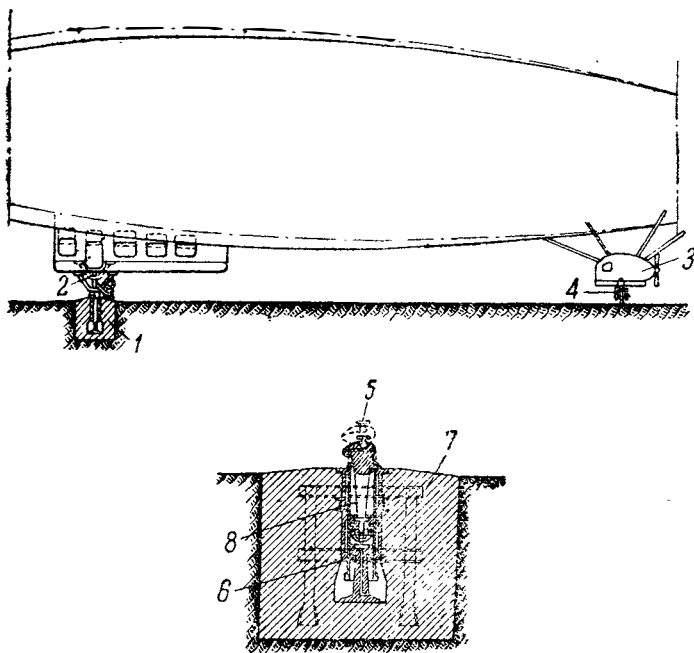


Рис. 5. Сооружение для стоянки воздушных кораблей.

1— фундамент сооружения для стоянки корабля, 2— амортизатор и шарнир для закрепления, 3— моторная гондола корабля, 4— тележка для закрепления гондолы, 5— головка, укрепляющая шарнир корабля, 6— стальной цилиндр, утопленный в фундамент, 7— закрепление сооружения в фундамент, 8— шток и поршень амортизатора толчков.

ного сооружения и не позволяющих ему двигаться в вертикальной плоскости.

Свободу движения корабля в горизонтальной плоскости необходимо сохранить, так как направление ветра у земной поверхности, так же как и на высоте причала, меняется иногда очень быстро, а закрепленный неподвижно корабль не сможет выдержать бокового давления ветра.

Если сооружение не снабжено механизмом для перевода корабля к земле, то корабль или стоит на вершине сооружения или

отцепляется от причального приспособления и переводится на сооружение для стоянки.

Сооружение для стоянки представляет собой пилон небольшой высоты (в зависимости от способов закрепления на нем корабля), на котором закрепляется корабль носовой или какой-либо другой, специально для этого приспособленной, частью. Одновременно корма корабля соединяется с тележкой, не позволяющей ей подниматься. Таким образом корабль может только вращаться вокруг оси пилона. Для смягчения возможных толчков все устройство снабжается амортизаторами (рис. 5). Все операции обслуживания корабля совершаются во время стоянки, причем время на снабжение корабля всем необходимым для дальнейшего полета ограничивается 1—1,5 часами в зависимости от длины дальнейшего перегона.

Длина перегонов находится в прямой связи с объемом корабля, поэтому для подсчетов при проектировании можно принимать время снабжения корабля следующим.

Для кораблей объемом:

10 000 м ³	0,5 час.
50 000 "	0,75 "
100 000 "	1,0 "
более 100 000 "	1,5 "

Следует обратить внимание еще на одну особенность в обслуживании корабля. Если корабль стоит на высоком сооружении, т. е. его корма свободна, то снабжение должно вестись так, чтобы корабль находился все время в равновесии, иначе корма будет или задирается или опускаться книзу, что одинаково вредно.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ

Установка для причала корабля

При рассмотрении процесса причала выше было установлено, что носовая точка корабля должна подтягиваться к вершине мачты тремя тросами, причем для возможности регулирования эти тросы должны выбираться независимо один от другого. В существующих причальных сооружениях они выбираются тремя самостоятельными лебедками.

Лебедка, выбирающая главный трос, должна обладать рядом особенностей, вызывающих усложнение ее конструкции и увеличение габаритов.

Лебедка должна иметь барабан большого диаметра, позволяющий наматывать главный трос, в котором развиваются очень большие усилия (рис. 6). Этот диаметр обычно принимают:

$$D = 50 d, \quad (2)$$

где d — диаметр троса, причем число проволок в тросе берут не менее 110.

Диаметр троса d определяется по максимально возможной силе при причале:

$$S = C_u \rho v^2 u^{\frac{2}{3}} \cos \alpha + \frac{G}{g} w \cos \beta, \quad (3)$$

где: C_u — коэффициент сопротивления судна при угле $\sim 10^\circ$, примерно 0,25;¹

ρ — плотность воздуха $\sim \frac{1}{8}$;

v — скорость встречного потока в м/сек = скорости выбирания троса, спроектированной на горизонталь + скорость ветра при причале;

u — объем корабля в м³;

G — вес корабля в кг;

g — 9,81 м/сек² — ускорение силы тяжести;

w — ускорение выбирания троса (0,01—0,1) м/сек² в вертикальном направлении;

α и β — углы, образованные направлением троса и направлением действия сил.

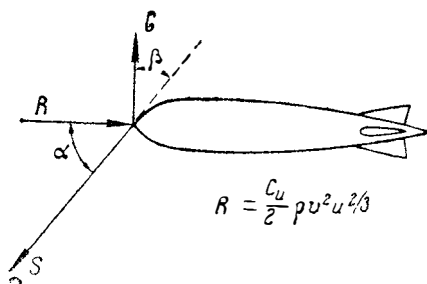


Рис. 6.

При проектировании причальных сооружений в Англии принимали S равным 15,5 т и диаметры стальных тросов до 20 мм.

Необходимая длина троса, идущего от барабана лебедки, определится из рис. 7:

$$L_{тр} = (2h + L) K, \quad (4)$$

где K — коэффициент запаса, равный 1,5—1,25, а минимальная длина наматываемого троса:

$$L' = (2h + L) + L_k - h = h + L_k + L, \quad (5)$$

где L_k — длина троса, сбрасываемого кораблем (~ 150 —200 м).

Скорость выбирания троса в момент его натягивания доходит до 1 м/сек, а в момент подтягивания корабля к сооружению уменьшается до (0,1—0,5) м/сек, следовательно двигатель, вращающий барабан лебедки, должен давать большой диапазон скоростей, что достигается установкой ряда передач или гидравлической муфты.

Во время процесса причала при усилении ветра, или при порывах его, возможно усиление напряжения в главном тросе, и следовательно возможен обрыв троса или поломка носовой части корабля. Для предотвращения этого явления, связь между двигателем и барабаном должна иметь и фрикционную передачу, которая позволит барабану скользить, разматывая трос в случае, если в последнем возникнут усилия, большие расчетного.

Необходимую мощность установки можно подсчитать по формуле:

$$HP = M\omega = S \frac{D}{2} \cdot n \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{2\pi}{9000 \eta} SDn, \quad (6)$$

¹ Значение C_u получается из продувок или его можно подсчитать $C_u = C_x \frac{S'}{u^{\frac{2}{3}}}$

где C_x — коэффициент из графика на рис. 39, а S' площадь модели корабля.

где η — коэффициент полезного действия, равный 0,8—0,7,
 n — число оборотов барабана лебедки в минуту.

На рис. 8 изображена лебедка причальной башни в Кардингтоне для причала корабля R —101 объемом в 141 600 м³. Она имеет двигатель мощностью 50 НР при 150 об/мин., а барабан, диаметром 1,54 м, вращается со скоростью до 3 об/мин. и может давать ско-

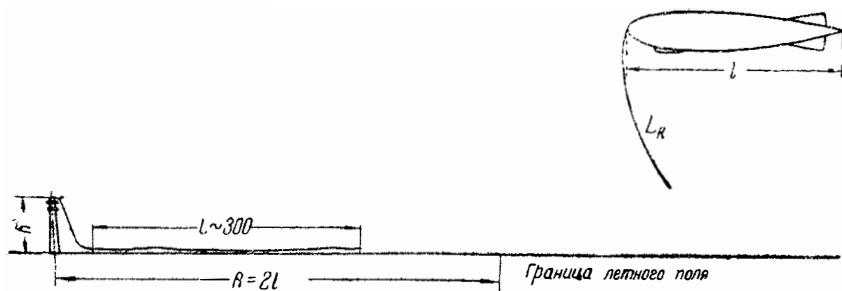


Рис. 7.

рость выбирания троса, при средней скорости около 15 м/мин, до 31 м/мин.

Двигатель для этой лебедки выбран паровой, что не является экономным решением. Очевидно наилучшим двигателем будет являться электромотор, с применением гидравлической передачи.

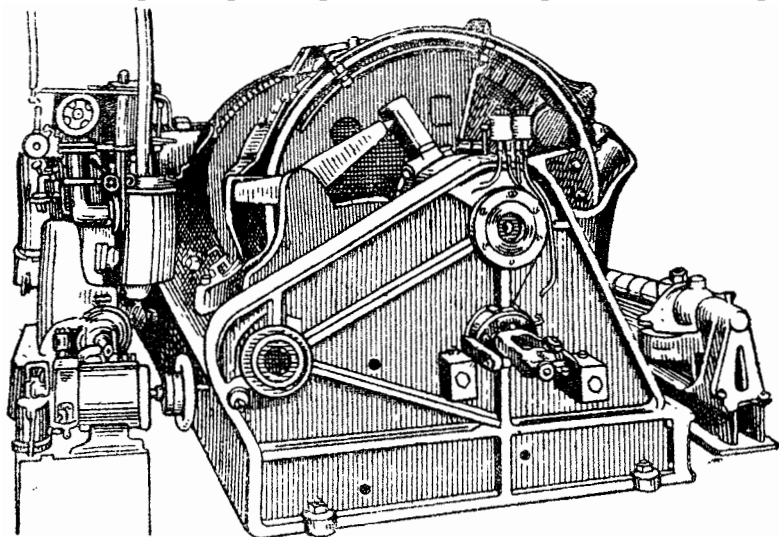


Рис. 8. Лебедка башни в Кардингтоне.

Зная мощность двигателя и размер барабана лебедки, всегда можно по каталогу определить необходимые габаритные размеры установки, а по ним и размеры помещения. Предварительно можно брать по 20—25 м² на лебедку.

Габаритные размеры лебедки в Кардингтоне равны 4 × 2 м.

Боковые тросы выбираются однотипными лебедками; усилия в тросах и мощность их определяются тем же порядком, что и у главного троса, длина же выбираемого троса будет иная.

Для того, чтобы причальное приспособление корабля совпало с причальным приспособлением башни, необходимо иметь стороны треугольника, образуемые боковыми тросами на рис. 9, равными:

$$l = \frac{h}{\sin \alpha \sin \beta}, \quad (7)$$

где α всегда будет равна 30° , а угол β в пределах $45-30^\circ$.

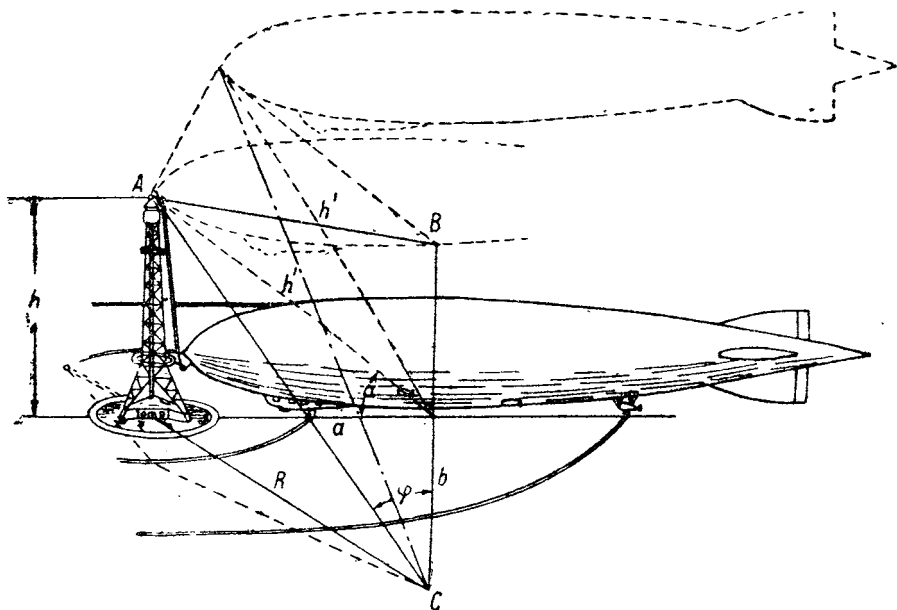


Рис. 9. Размеры боковых тросов.

В этом случае радиус круга бетонных массивов, в которых заложены блоки для прохождения боковых тросов к лебедкам, определится как:

$$R = \frac{h}{\sin \alpha} \sqrt{\cos^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta}; \quad (8)$$

тогда необходимая длина троса, идущего от барабана лебедки, будет:

$$L_{\text{т}} = R + l', \quad (9)$$

где l' — запас длины $\sim R$, а минимальная длина наматываемого на барабан боковой лебедки троса будет:

$$L'_{\text{дт}} = L_{\text{вт}} + L_{\text{кб}} - l - R = L_{\text{кб}} + l' - l, \quad (10)$$

где $L_{\text{кб}}$ — длина сбрасываемых кораблем боковых тросов.

Боковые тросы от бетонных массивов идут в специальных каналах через систему блоков в лебедочное помещение.

Так как длина l для сооружения постоянна, а $L_{\text{тб}}$ — известно, то на тросе делаются специальные пометки, чтобы рабочий на лебедке знал, когда прекращать выбирание троса.

Поместив все три лебедки в одно помещение, мы можем определить минимальные его размеры, взяв габаритные размеры установок и прибавив к ним разрывы.

Так, если габаритные размеры установки $a \times b$, а разрывы c , то минимальная площадь лебедочной определится как:

$$F_{\text{леб}} = 3(a + 2c)(b + 2c), \quad (11)$$

Для лебедочной нужно давать от 1,5 до 2 м.

Вся система тросов и лебедок должна обеспечить точное попадание причального конуса, который укреплен на носовом усилении корабля так, что легко может поворачиваться в вертикальной плоскости, в воронку причального приспособления. Размеры воронок и конусов к настоящему времени стандартизованы — их стандартные размеры даны на рис. 10.

На рисунке виден у причального конуса желобок, который служит для удерживания конуса в воронке. Воронка обычно имеет в своей толще три пружинные защелки. Головка причального конуса, входя в воронку, эти защелки раздвигает. Как только головка прошла дальше, защелки пружинами автоматически выдвигаются в желобок и корабль оказывается связанным с причальным сооружением. Чтобы отпустить корабль, защелки нужно будет оттянуть назад, для чего они снабжаются специальными маховичками.

Причальный трос проходит по оси корпуса сооружения и причальной воронки, но для обеспечения большей легкости попадания конуса в воронку все причальное приспособление, вместе с воронкой, может на карданном подвесе вращаться вокруг вертикальной оси, давая в любой момент угол до 30° .

После того, трос в момент вхождения конуса в самый последний момент

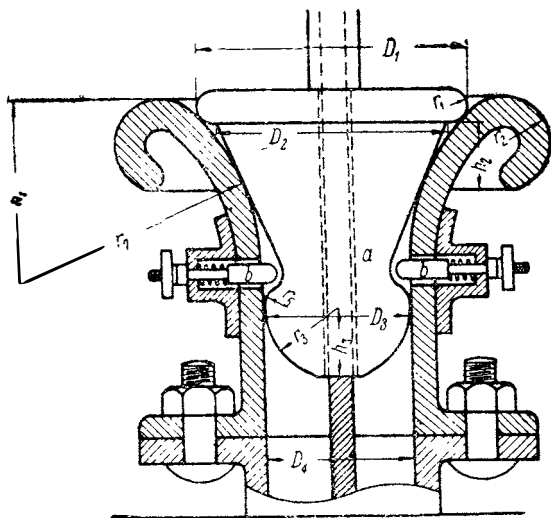


Рис. 10. Конус и воронка для причала.

a — трос корабля и отверстие для него в теле конуса, b — защелки в воронке.

$D_1 = 305$ мм,	$r_1 = 15$ мм,	$h_1 = 203$ мм,
$D_2 = 250$ мм,	$r_2 = 54$ мм,	$h_2 = 70$ мм,
$D_3 = 156$ мм,	$r_3 = 82$ мм,	$h_3 = 76$ мм,
$D_4 = 160$ мм,	$r_5 = 25$ мм,	
	$r_7 = 270$ мм,	

перед соединением с причальным приспособлением была направлена по оси последнего, углу наклона треугольника, образованного боковыми тросами, дается значение $\alpha = 30^\circ$. Таким образом плоскость треугольника на рис. 9 перпендикулярна оси причального приспособления, а значит скорость корабля, направленная по касательной к радиусу вращения, совпадает с осью причального приспособления. Но так как тросы дают провес, то все же возможны отклонения направления скорости корабля от направления причального приспособления.

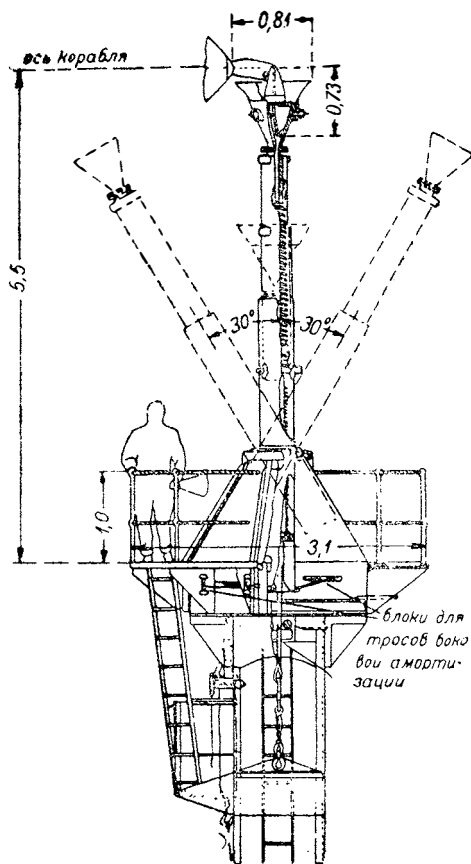


Рис. 11. Пружинное причальное приспособление.

причальное приспособление в г. Пульхэме (рис. 11).

Приспособление состоит из двух трубок. Нижняя скреплена осью с карданным подвесом, укрепленным на вершине причальной мачты. Верхняя несет на себе воронку и может выдвигаться в нижней трубе. Внутри проходит спиральная пружина, которая и выдвигает верхнюю трубу вперед.

Корабль, сжимая эту пружину, теряет всю свою живую силу на расстоянии примерно 2,3 м (длина сжатия пружины). Когда внутренняя трубка войдет полностью на свое место, то она защелкивается и закрепляет корабль.

Если в момент защелкивания конуса в воронку остановить корабль, то может получиться авария в силу большой инерции отдельных масс корабля, поэтому воронка укреплена не прямо на сооружении, а составляет часть причального приспособления, назначением которого является безопасная остановка корабля. Для выполнения этой задачи причальное приспособление снабжается амортизаторами; они плавно погашают живую силу корабля. Системы амортизаторов могут быть очень разнообразны. В осуществленных конструкциях применены амортизаторы: пружинные, пневматические, противовесы и их комбинация с электромагнитными тормозами.

Как пример причального приспособления, амортизирующего живую силу корабля пружинами, можно указать на

Размеры пружины и длина пути могут быть определены из усилия, развивающегося в амортизаторе.

Работа силы сопротивления амортизатора Q , на длине пути l_1 , должна равняться погашаемой ею живой силе корабля. Обозначив вес корабля через G , а его скорость через v , будем иметь:

$$Q l_1 = \frac{G v^2}{2g}.$$

Приняв во внимание, что для пружины радиусом r , при радиусе витка R , деформация при допускаемых напряжениях t выражается формулой:

$$l = Q \frac{4n R^3}{3 E r^4},$$

получим значение l_1 :

$$l_1 = \frac{4v R}{r^2} \sqrt{\frac{Gn R}{3g E}}. \quad (12)$$

Скорость корабля в момент его остановки можно брать в пределах (0,1—0,5) м/сек, а длину l_1 в пределах не более 2—3 м, иначе получаются большие усложнения в конструкции вершины сооружения, но брать пружину жесткую тоже не рекомендуется, так как она будет давать плохую амортизацию; n берут около 100—200.

Кроме проверки длины амортизационного пути необходимо проверить прочность пружины по формуле:

$$t = \frac{3v}{4r\pi} \sqrt{\frac{GE}{3gn R}} \leq |t|. \quad (12a)$$

В случае, если скорость будет направлена не строго по оси причального сооружения, корабль даст кроме силы, сжимающей пружину, еще и силу, поворачивающую все причальное приспособление около его шарнира; для ее погашения устраиваются амортизаторы боковой силы.

Чаще всего для амортизации боковой силы пользуются пружинами, в которые упираются грузы, подвешенные на концах тросов. В этом случае длина пути груза максимум может быть:

$$l = a \frac{\pi}{180} \alpha = 0,525 a, \quad (13)$$

где a — длина нижней части причального приспособления (рис. 12).

Обозначив усилие, которое может оказывать корабль на воронку башни в боковом направлении, через R и зная, что для получения выражения массы надо последнее разделить на ускорение x'' , амортизируя всю живую силу грузом, получим выражение для величины груза:

$$Q = \frac{m v_1^2}{2 \cdot l} = \frac{R v_1^2 \cdot 180}{2 x'' a \pi} = 28,3 \frac{R v_1^2}{x'' a \pi}. \quad (14)$$

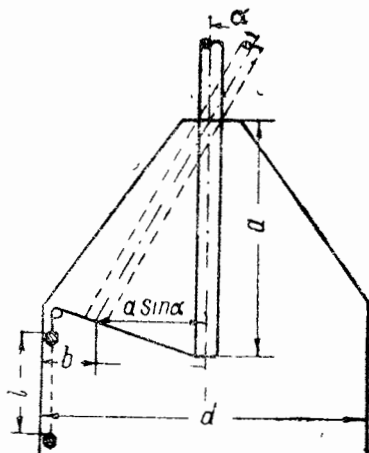


Рис. 12.

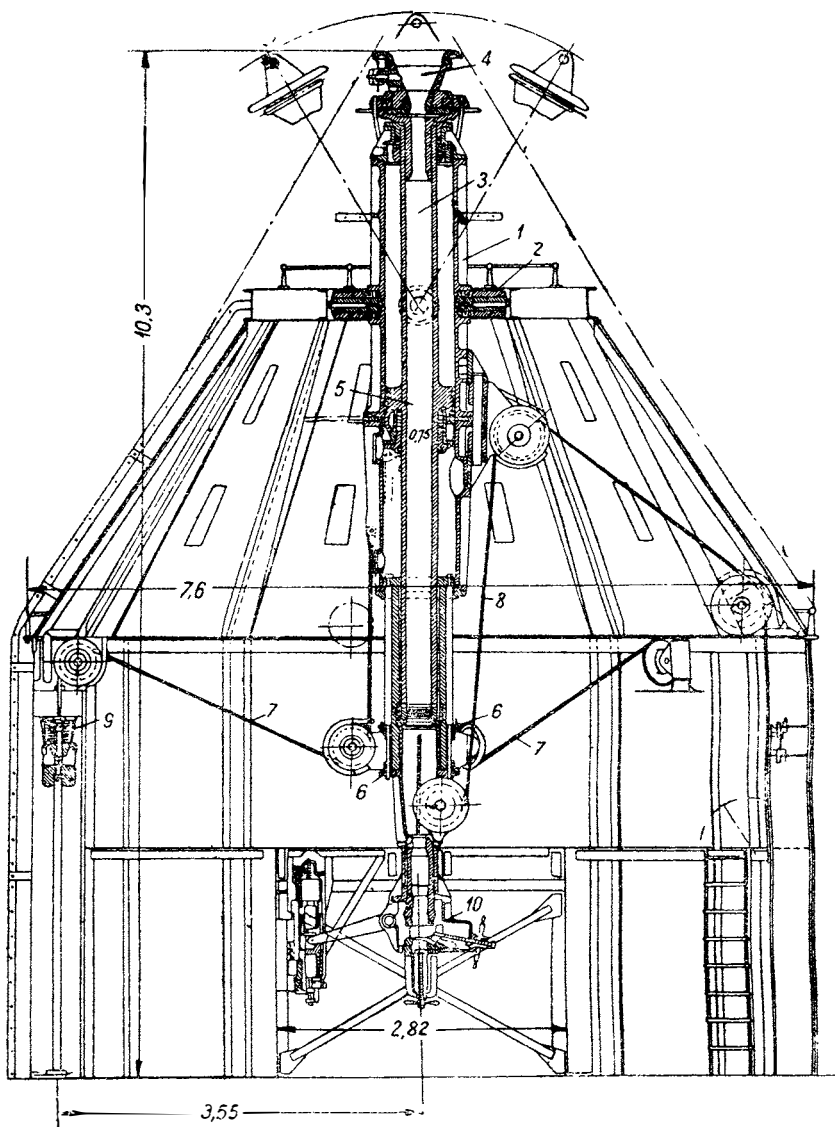


Рис. 13. Причалное приспособление на башне в Монреале.

1—цилиндр, соединенный с телом сооружения, 2—шарнир и рама карданного подвеса, 3—трубка выдвижного элемента, через нее проходит трос от корабля, 4—воронка для приема конуса, 5—поршень на выдвижном элементе, 6—ползун с роликами для тросов боковой амортизации, 7—тросы боковой амортизации, 8—главный трос корабля, проходящий через два неподвижно закрепленных с причальным приспособлением ролика, 9—грузы и пружины боковой амортизации, 10—кран для впуска сжатого воздуха.

Величины v_1 — скорость движения корабля в боковом направлении и x'' — ускорение воронки — зависят от очень большого числа факторов, но во всяком случае трудно предполагать, чтобы они были больше следующих величин:

$$v = 0,1 \text{ м/сек},$$

$$x'' = (0,01 - 0,1) \text{ м/сек}^2.$$

Величину R для получения наибольшего значения величины Q рекомендуется брать в пределах 0,5—0,3 силы, которую выдерживает носовое устройство корабля, или максимальной величины силы отрыва корабля от причального сооружения (определение этой силы см. на стр. 54).

Боковые амортизаторы с грузами устроены в причальном сооружении в г. Монреале (Канада). Для того, чтобы устранить резкую остановку в момент, когда причальное приспособление дойдет до вертикального положения, грузы упрутся в пружину, увеличивающую действие груза Q . Эти противовесы обозначены на рис. 13 цифрой 9.

Для того, чтобы иметь место для подвеса грузов, необходимо контур причальной будки отвести от оси башни на такое расстояние, чтобы нижняя часть причального приспособления при своих отклонениях не задевала за боковые грузы. Минимальный диаметр площади получится:

$$\begin{aligned} d &= 2(a \sin \alpha + b) = \\ &= (0,5 a + b) 2 = a + 2 b; \end{aligned} \quad (15)$$

величину b нужно выбирать так, чтобы давался достаточный запас на размещение пружин боковой амортизации, порядка 0,5—1,0 м (рис. 12).

На рис. 13 изображена конструкция причального приспособления с пневматической амортизацией погашения живой силы корабля. Схема этого приспособления дана на рис. 14. Из них видно, что весь прибор состоит из двух элементов: нижнего, скрепленного карданом с причальным сооружением, и верхнего, входящего в него и несущего на вершине воронку. Верхний элемент соединен с поршнем, который может двигаться внутри наружного элемента. Наружный элемент снабжен двумя трубками, подводящими сжатый воздух в нижнюю и верхнюю часть.

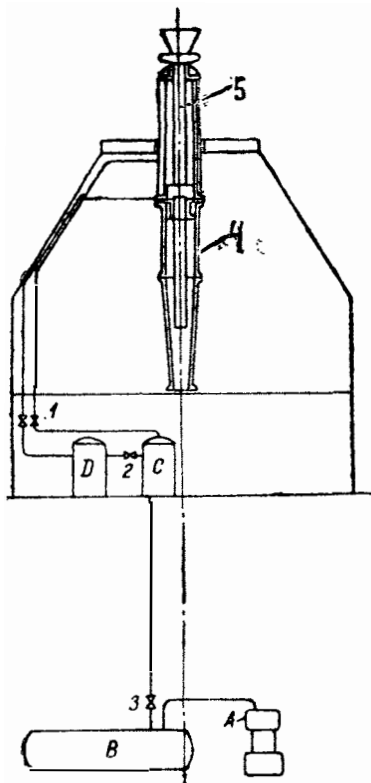


Рис. 14. Схема Монреальского причального приспособления.

1, 3 — краны для пропуска воздуха, 2 — редукционный клапан, 4 — цилиндр, скрепленный с сооружением, 5 — выдвижной элемент с поршнем. А — компрессор, В — запасной резервуар со сжатым воздухом, С — рабочий резервуар со сжатым воздухом, D — рабочий резервуар со сжатым воздухом пониженного давления.

Перед причалом корабля сжатый воздух выдвигает вперед внутренний элемент с воронкой до отказа $\sim 2,28$ м, после чего кран, пропускающий воздух, закрывается.

Корабль, после попадания причального конуса в воронку, двигая поршень обратно, сжимает воздух под поршнем и останавливается, встречая все увеличивающееся сопротивление. Остановка корабля получается исключительно плавной, а поэтому скорости выбирания троса лебедками могут быть значительно большими, по сравнению с другими типами причальных приспособлений. Скорость для малых кораблей в Монреале принята 45 м/мин, а для больших—15 м/мин.

В момент, когда корабль остановится, кран нижней трубки открывается, а в верхнюю начинает поступать сжатый воздух, с давлением большим, чем первоначальное давление нижней части цилиндра. Этот воздух доводит поршень до его нижнего положения. Одновременно при этом движении поршня вниз, нижнее продолжение внутреннего элемента, так называемый хвост, задевает за ползунки 6 (рис. 13) и, опуская их книзу, натягивает все четыре троса боковой амортизации. Этим самым приводится в вертикальное положение все причальное приспособление.

Для определения минимальной длины цилиндра воспользуемся законом Бойля-Мариотта, причем нагреванием воздуха пренебрежем:

$$p_x = \frac{p_0 v_0}{v_x},$$

где p_0 и v_0 —первоначальное давление и объем, а p_x и v_x —давление и объем в любой другой момент. Так как

$$v_x = F(l_0 - x), \text{ а } v_0 = Fl_0,$$

то

$$p_x = p_0 \frac{Fl_0}{F(l_0 - x)} = \frac{l_0}{l_0 - x} p_0;$$

работа поршня на длине dx будет:

$$dT = -p_x F dx,$$

а работа поршня на участке от 0 до l_1 , т. е. на длине x :

$$T = - \int_0^{l_1} p_x F dx = -p_0 Fl_0 \int_0^{l_1} \frac{dx}{l_0 - x} = +p_0 Fl_0 \left[\lg_n(l_0 - x) \right]_0^{l_1}$$

$$T = p_0 F l_0 \lg_n \left(\frac{l_0 - l_1}{l_0} \right);$$

На основании уравнения равновесия:

$$T + \frac{mv^2}{2} = 0,$$

откуда:

$$\lg_n \frac{l_0 - l_1}{l_0} = \frac{T}{p_0 F l_0} = - \frac{mv^2}{2 p_0 F l_0},$$

или

$$\frac{l_0 - l_1}{l_0} = e^{-\frac{mv^2}{2p_0 l_0 E}},$$

откуда получаем длину l_1 :

$$l_1 = l_0 \left(1 - e^{-\frac{mv^2}{2p_0 l_0 E}} \right). \quad (16)$$

Таким образом, поставив ось вращения причального приспособления в середине цилиндра, длину нижней части определим как:

$$a = \frac{l_1}{2} (1 + h) + c, \quad (17)$$

где c — длина всех дополнительных устройств, а h — запас в длине цилиндра, равный 0,05 м.

Для удержания в вертикальном положении приспособления в полу камеры, имеется специальная защелка.

Следует заметить, что вся операция причала корабля происходит автоматически, участие человека сводится только к выдвиганию защелки и наблюдению за работой.

В настоящее время разобранная конструкция причального приспособления является наилучшей.

Несколько уступающей ей в части полного удовлетворения всем требованиям безопасного причала является конструкция причального приспособления на башне в Кардингтоне (Англия). Схема этого приспособления дана на рис. 15.

Это приспособление состоит из трех телескопически соединенных друг с другом элементов. Верхний элемент A , несущий на себе причальную воронку, соединен посредством цепи, перекинутой через блок, с грузом B . Последний, стремясь опуститься, выдвигает элемент A ,

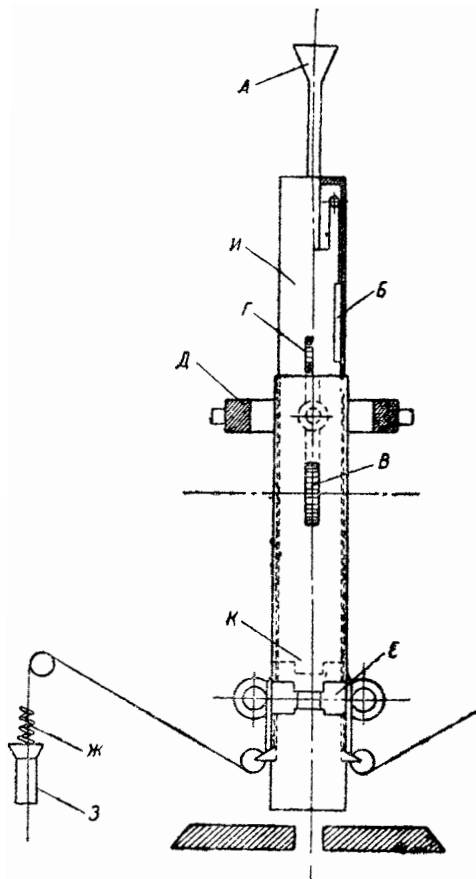


Рис. 15. Схема Кардингтонского причального приспособления.

A — воронка, B — противовесы, $Б$ — зубчатка, соединенная с мотором, $Г$ — крепильера подвижного элемента, $Д$ — карданный подвес, $Е$ — валики для наматывания тросов боковой амортизации, $Ж$ — пружины боковой амортизации, $З$ — грузы боковой амортизации, $И$ — подвижной элемент, $К$ — выступ подвижного элемента.

если он не защелкнут, вверх на 0,9 м. Блок, через который перекинута цепь, и грузы укреплены уже во втором элементе *И*, имеющем квадратное сечение. Этот элемент перемещается в направляющих третьего, посредством мотора с зубчаткой *В*, насаженных на третьем же элементе.

Движение от зубчатки передается кремальере второго элемента *Г*, которая позволяет выдвигать второй элемент на 1,52 м. Третий телескопический элемент вращается на карданном подвесе *Д*, соединенном с причальным сооружением, и несет на себе устройство *Е* для амортизации боковых смещений и приведения приспособления в вертикальное положение.

Причал при установке такого прибора проходит следующим образом: для приема корабля полностью выдвигается второй элемент и воронка. Корабль, ударившись в воронку, встречает сопротивление грузов и теряет часть своей живой силы, равную:

$$T = Pl \cos \alpha. \quad (18)$$

Если величина *P* или *l* была выбрана с недостатком, то корабль, продолжая двигаться дальше, заставит опускаться второй элемент, который, опускаясь, будет посредством кремальеры вращать зубчатку. Регулируя же движение электромотора, на валу которого насажена зубчатка, можно амортизировать любую силу на заданном участке. На Кардингтонской башне для этой цели установлен мотор в 5 НР.

В случае, если удар корабля получился не строго по оси, то боковая составляющая живой силы будет вращать все приспособление около шарнира подвеса и поднимать один или два подвешиваемых груза *З*, связанных с нижним концом причального приспособления, причем перед окончанием возможного подъема груза *З*, для замедления движения перед остановкой, груз задерживается пружиной *Ж*, которая, совершая работу, погашает живую силу.

Для приведения всего приспособления в вертикальное положение служат валики *Е*, приводимые в движение электромотором, укрепленным на третьем элементе причального сооружения. Валики, вращаясь, наматывают трос, поднимающий грузы *З*; так как все тросы будут укорочены до одинаковой длины, то все приспособление займет вертикальное положение, в котором оно будет закреплено путем опускания конца второго элемента *К* в отверстие в полу камеры.

Это причальное приспособление помимо своей сложности имеет тот недостаток, что здесь требуются запасные установки для подачи электроэнергии, на случай выключения основного источника.

Наконец следует остановиться еще на одном типе причального сооружения, устройство которого позволяет подавать корабль к земле сразу после причала.

Для осуществления этой операции причальная воронка укрепляется на салазках, которые скользят по двум направляющим, идущим от вершины сооружения книзу. Эти направляющие связаны с телом сооружения посредством специальных колец, опоясывающих тело сооружения. Связь направляющих с телом сооружения

хорошо видна из рис. 29. Вращение направляющих вокруг оси сооружения осуществляется мотором 1 (рис. 16) через передаточный механизм 2—3. Шестерня 2, вращаясь, передвигает все приспособление по кремальере, опоясывающей тело сооружения.

Причал совершается в положении, когда ось воронки наклонена к горизонту под углом 30° . Трос от причальных лебедок проходит через большой блок верхней платформы, через воронку к кораблю. При ударе корабля направляющие поворачиваются около горизонтального шарнира 4. Живая сила корабля поглощается тремя пружинными амортизаторами 5. Амортизаторы образуют пирамиду, к вершине которой подходит конец направляющих для салазок воронки. Нижние концы пружинных амортизаторов укреплены шарнирно на выступах той же платформы, на которой укреплен и мотор для вращения всего приспособления.

Для опускания салазок воронки, а следовательно и корабля, к воронке присоединены три троса. Трос 6 идет от салазок воронки к ручной лебедке 7, укрепленной на верхней платформе. Этим тросом можно дотянуть воронку до ее крайнего верхнего положения. Параллельно с главным тросом, от воронки, через большой блок верхней платформы, вниз к вспомогательной лебедке, идет еще один трос 8; он служит для удерживания салазок лебедки от произвольного движения их вниз.

Со стороны, противоположной тросу 6, проходит трос для спуска вниз. Этот трос огибает барабан ручной лебедки 10, установленный на нижней платформе, и идет на барабан лебедки, установленный в лебедочном отделении сооружения.

Для спуска корабля к земле, с верхнего его положения, при помощи ручной лебедки 10 выбирают трос спуска, при одновременном вытравливании всех остальных тросов. Когда воронка приблизится к лебедке 10, то она освобождается от всех тросов кроме 8 и троса, тянущего вниз. Для того, чтобы последний мог тянуть салазки ниже ручной лебедки 10, его перед запуском лебедки спуска сбрасывают с барабана.

Подъем корабля наверх для отправки совершается при помощи тех же операций, только выполненных в обратном порядке.

В этом причальном приспособлении слабым местом являются длинные направляющие, которые могут испытывать перекос при повороте, а вал, приводящий их в действие, будет получать большой угол закручивания.

В последнее время в Дирижаблестрое запроектировано причальное приспособление такой же схемы, но направляющие у него опираются внизу на тележку,двигающуюся по круговому рельсовому пути. На этой тележке укреплены моторы, производящие операцию опускания корабля к земле, и моторы, поворачивающие всю установку вокруг причального сооружения.

Снабжение корабля

Корабль на причальном сооружении снабжается газом, горючим, смазочным, балластной и питьевой водой.

Для осуществления всех этих операций в сравнительно короткий

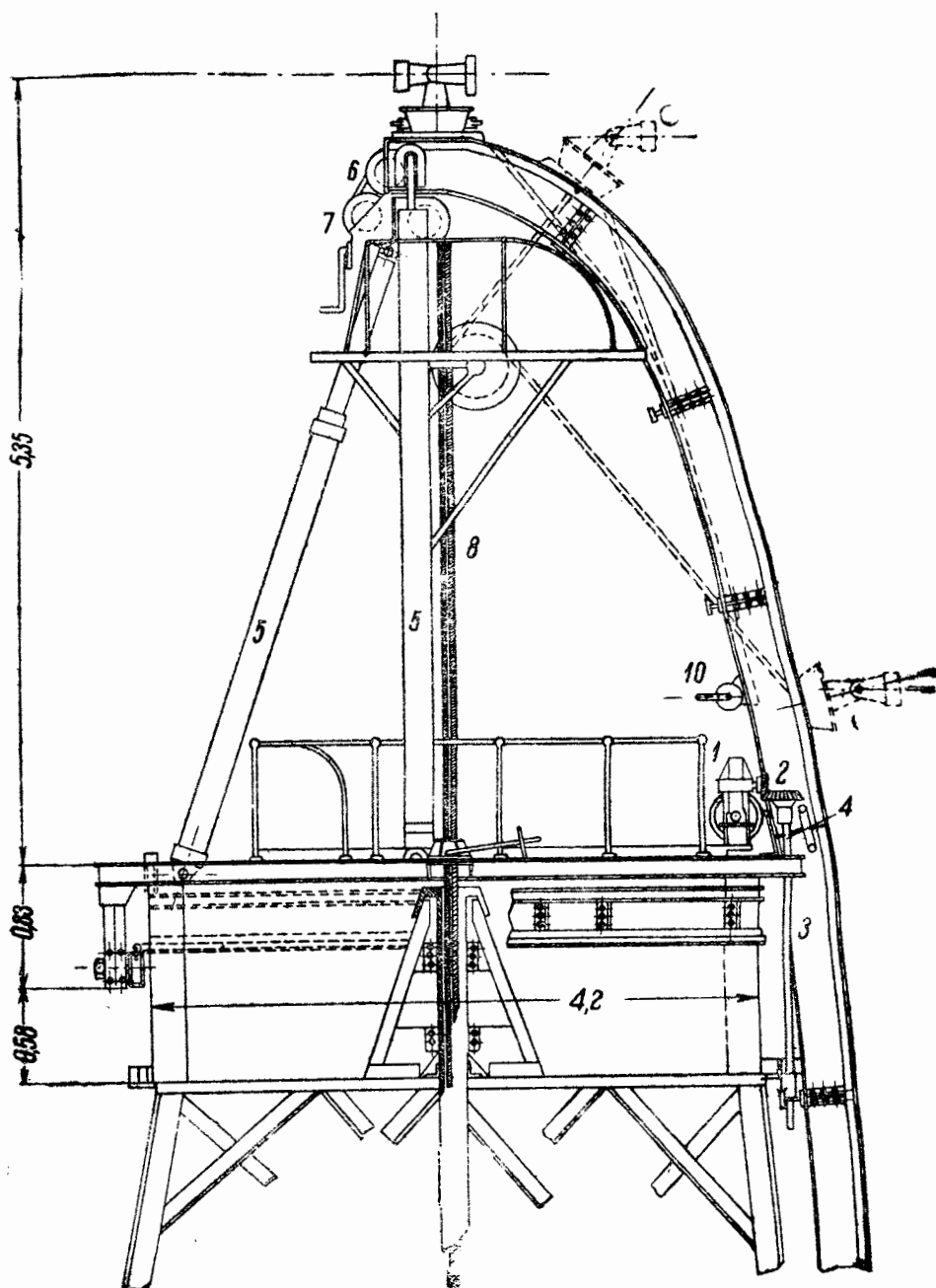


Рис. 16. Причалное приспособление для опускания корабля к земле.

срок (1—1,5 часа), при причальном сооружении должны находиться склады указанных материалов и установки для их подачи на корабль.

Емкость расходных хранилищ при причальном сооружении рассчитывается на пополнение того расхода материала, который будет произведен на корабле за время его полета на наибольшем перегоне плюс некоторый запас. Если в порту установлено несколько причальных сооружений, то центральные хранилища рассчитываются обычными методами, исходя из потребности порта и сроков пополнения.

Снабжение газом

Газ расходуется во все время полета и стоянки на диффузию газа через оболочку; этот расход, около 10—12 л в сутки с 1 м² оболочки, представляет заметную величину только в кораблях, в которых расход горючего во время полета не вызывает изменения подъемной силы.

Больше всего приходится расходовать газ на сохранение высоты полета при обычных бензиновых двигателях. Каждая тонна сгоревшего бензина увеличивает подъемную силу корабля, а следовательно для того, чтобы сохранить высоту полета, необходимо выпускать газ, уменьшив на столько же подъемную силу.

Расход газа определяется следующим образом:

$$u_1 = \frac{Q}{\gamma}, \quad (19)$$

где Q — вес сгоревшего горючего, γ — подъемная сила 1 м³ газа (в этом случае расход на диффузию не учитывают).

В современных кораблях моторы снабжаются установками, конденсирующими воду из продуктов горения, и тогда Q очевидно будет разность между весом сгоревшего горючего и сконденсированной воды.

Кроме этого, при снижении корабля всегда расходуется газ в объеме:

$$u_2 = \frac{P_h}{\gamma}, \quad (20)$$

где P_h — всплывная сила корабля, необходимая для подъема от высоты причального сооружения на высоту полета. Принимая стандартную высоту полета 600 м, при высоте причального сооружения ~ 60 м, и изменение плотности воздуха по стандартной атмосфере, получим $P_h \sim 0,05 P$..., где P — полная подъемная сила корабля.

* Стандартная же атмосфера учитывает изменение давления по следующему закону:

$$\frac{p_h}{p_0} = \left(1 - \frac{h}{44\,300} \right)^{4,256},$$

что дает возможность составить табл. 1, в которой указано одновременно и изменение температуры.

Таблица 1

Высота h м	$\frac{\rho_h}{\rho_0}$	t°	γ кг/м ³	$\Delta = \frac{\rho_h}{\rho_0}$
0	1,0000	+ 15,0	1,2250	1,0000
1 000	0,8870	+ 8,5	1,1120	0,9074
2 000	0,7845	+ 2,0	1,0068	0,8216
3 000	0,6918	— 4,5	0,9094	0,7420

Последняя графа таблицы, дающая изменение плотностей, подсчитывается по формуле:

$$\frac{\rho_h}{\rho_0} = \left(1 - \frac{h}{44\,300} \right)^{4,256}.$$

Изменение подъемной силы очевидно обратно пропорционально плотности воздуха, а следовательно:

$$u_h = u_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_h} = \frac{u_0}{\left(1 - \frac{h}{44\,300} \right)^{4,256}}, \quad (21)$$

что дает:

$$u_2 = u_h - u_0,$$

если за h принять высоту полета в точке отправления над уровнем моря, а за 0 — высоту причала.

Таким образом при обычных условиях можно сказать, что объем газа, который необходимо подать на корабль, будет равен:

$$u = \frac{Q}{\gamma} + \frac{0,05 P}{\gamma} = \frac{1}{\gamma} (Q + 0,05 P). \quad (22)$$

Подача газа на вершину сооружения, а затем и на корабль, производится по трубопроводу, идущему вдоль одной из опорных частей несущей конструкции или лифта так, чтобы его легко было осмотреть и отремонтировать.

Для определения диаметра трубопровода можно воспользоваться формулой Поле для газов, подаваемых при малом давлении до 50 мм водяного столба.

Эта формула имеет вид:

$$d^5 = \frac{660 \kappa q^2 s l}{h'}, \quad (23)$$

где: q — часовой расход газа в м³;

s — удельный вес газа по отношению к воздуху;

l — длина подачи;

h' — потеря напора в мм водяного столба;

κ — коэффициент трения; для наших расчетов, с запасом, он равен 0,003;

Приняв, что установка для подачи газа размещена при основании сооружения, а высота сооружения h , и зная, что h' выражается формулой:

$$h' = hG(1 - s),$$

в которой h' — изменение давления газа в мм водяного столба, а G — вес 1 м³ воздуха в кг, для водорода получим:

$$h' = 1,29(1 - 0,069)h = 1,2h$$

и

$$d^5 = 0,114 q^2. \quad (24)$$

Габариты установки можно принять равными $1,5 \times 2$ м с учетом проходов $\sim 10-12$ м².

Если установка для подачи газа смонтирована у газгольдера, то в машинном зале надо предусмотреть только установку вентиля — достаточно будет 1 м².

В некоторых пунктах причальные сооружения не будут иметь при себе газового завода. В этом случае газ будет храниться в складе в баллонах.

Баллон представляет собой цельнотянутую трубу диаметром 200 мм, длиной 1,67 м, емкостью 36—36,5 л газа, сжатого до 165 ат, что при нормальном давлении дает 5,5—5,8 м³ газа.

Такие баллоны соединяются в батареи, и газ из них, проходя через устройство, понижающее давление, поступает сразу в трубопровод. Такие баллоны, приготовленные для снабжения корабля, видны на рис. 17 у подножия мачты итальянского типа.

Число баллонов на складе при сооружении, с учетом двойного запаса, определится как:

$$n = \frac{u}{5,5} 2 = 0,364 u. \quad (25)$$

Исходя из этого числа, определяют площадь и объем склада баллонов.

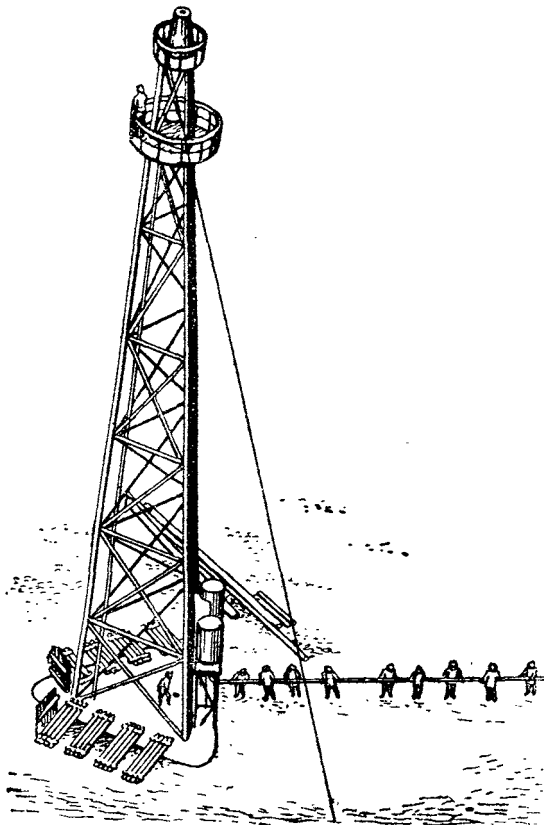


Рис. 17. Батареи газовых баллонов при основании сооружения.

Мелкие баллоны для хранения газа неудобны по своей многочисленности, поэтому разрабатываются баллоны шаровые, а в Германии для хранения газа употреблялись баллоны крупного размера, соединенные между собой и уложенные в подземные хранилища (рис. 18).

Снабжение горючим

Современные моторы дирижаблей расходуют в качестве горючего главным образом бензин; кроме этого существуют газовые двигатели и двигатели на тяжелом топливе.

Система снабжения газом для топлива будет аналогична системе снабжения газом для создания подъемной силы, только будет иметь самостоятельную сеть.

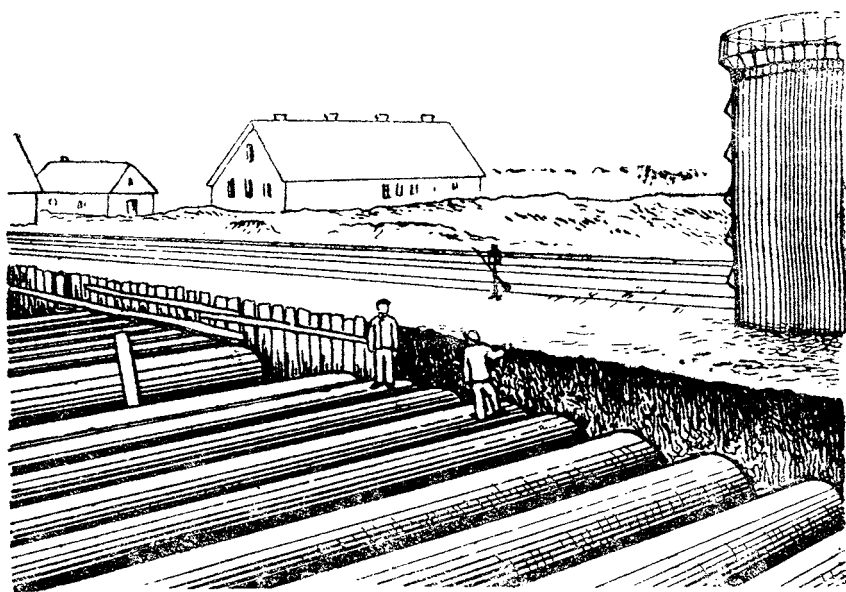


Рис. 18. Подземное газохранилище в Альхорне.

Бензина расходуется в среднем $0,25 \text{ кг}$ на силу-час, что и обозначим через q .

За время полета расходуется бензина:

$$Q = \frac{qNL}{v}. \quad (26)$$

В этой формуле за N берут полную мощность моторов для того, чтобы создать запас пропускной возможности установок на начальном сооружении, а время полета $\left(\frac{L}{v}\right)$ вычисляется при крейсерской скорости.

Диаметр трубопровода ориентировочно можно подсчитать по формуле:

$$d = 1,125 \sqrt{\frac{Q}{\gamma T v}}, \quad (27)$$

где: $\frac{Q}{T}$ — расход горючего трубопроводом в единицу времени,

v — скорость подачи (ее следует брать не больше 0,75 м/сек),

γ — вес единицы объема горючего.

Емкость расходного бензинохранилища лучше брать равной двойному расходу, одновременно ориентируясь на типовые бензинохранилища, принятые в авиации СССР. На рис. 19 изображено типовое бензинохранилище ВСУ. В случае необходимости подачи смеси, бензинохранилище устраивают из трех цистерн, — третья цистерна служит для хранения смеси. Аппаратная такого бензинохранилища занимает площадь 10—25 м². По нормам устройства аэропортов, бензинохранилища должны быть удалены от остальных сооружений на расстояние не меньше 50 м; это расстояние вызвано пожарной опасностью для причального сооружения, его нужно будет увеличивать, чтобы пожар не угрожал кораблю, т. е. вынести хранилище за пределы летного поля, а при сооружении устраивать только аппаратную.

Последнее усложняет обслуживание и сильно удорожает самую установку.

За границей расходные бензинохранилища устраивают непосредственно под причальным сооружением. Так в Детройте, в Монреале и в Кардингтоне они устроены при причальных сооружениях, которые должны были обслуживать пассажирское движение. Пример такого бензинохранилища дан на рис. 20.

Оно состоит из цистерны, емкостью около 32 т, удаленной от несущей конструкции башни всего на 8—10 м, а насосное устройство находится в непосредственной близости с машинным залом и котельной.

Оригинальным в устройстве этого бензинохранилища является насос, система трубопроводов и двойной контроль количества горючего. Насос устроен поршневым, из-за опасения, что центробежный насос не подаст горючего на высоту 61,5 м. В настоящее время имеется достаточно центробежных насосов, могущих подать горючее на большую высоту. Труба, подающая горючее от насоса, снабжена тремя клапанами: воздушным клапаном, обеспечивающим поступление воздуха в насос, обратным клапаном, разгружающим насос от давления горючего, подаваемого на корабль, и сливным клапаном, пропускающим горючее в сливную трубу, если в вертикальной трубе бензин остановлен заслонкой. Для слива бензина из главной трубы, после окончания подачи на корабль, используется этот же самый клапан. Слив бензина обязателен для устранения возможных неприятностей при низких температурах и по пожарным соображениям.

Для контроля, кроме обычных измерителей уровня, установлен контрольный бак со специальной системой трубопроводов,

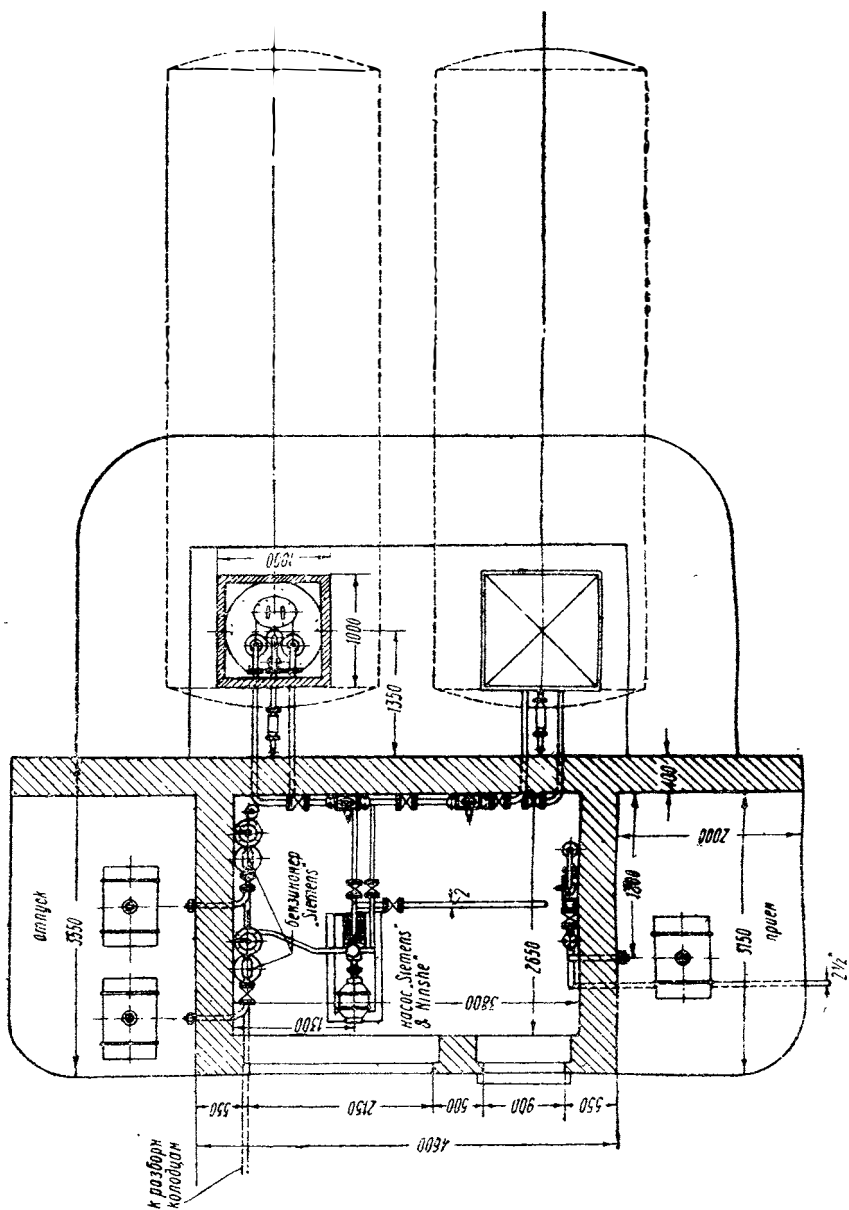


Рис. 19. Типовое бензохранилище.

соединенных для слива с трубой 3. Все трубопроводы, которые идут под землей, укладываются в тоннель, допускающий легкий осмотр и устранение неисправностей.

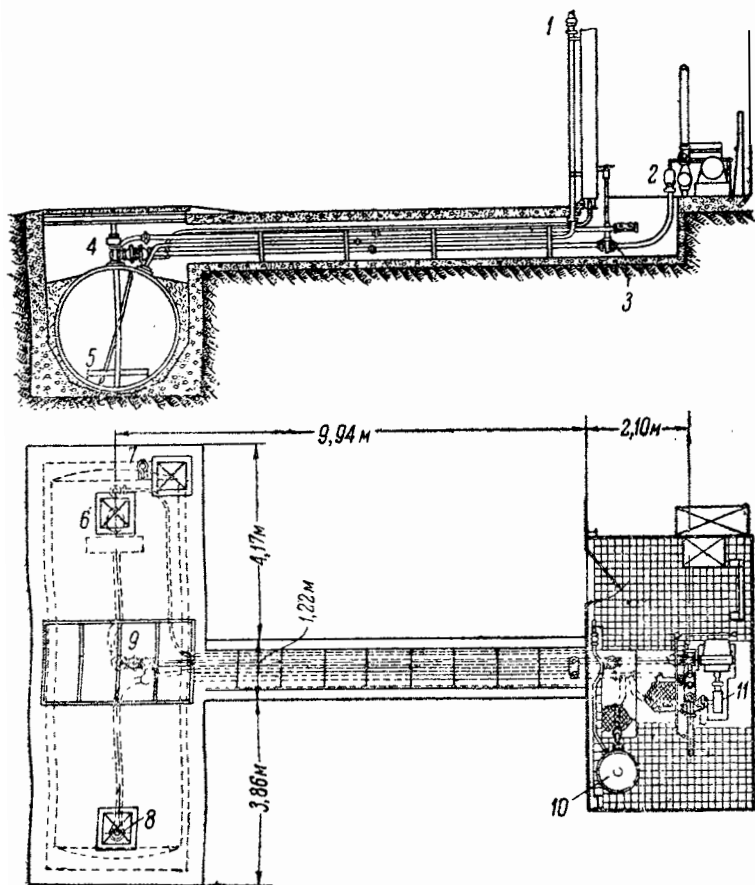


Рис. 20. Бензинохранилище на базе в Кардингтоне.

1 — огневой предохранитель, 2 — фильтр с воздушным клапаном, 3 — примыкание контрольной системы к сливной трубе, 4 — компенсационный клапан в месте стыка трубопровода насоса с трубами цистерн, 5 — поплавков для трубки всасывания, 6 — люк для ввода труб, 7 — отверстие для измерителя уровня, 8 — отверстие для слива горючего и фильтр, 9 — обратный клапан, 10 — контрольный бачок, 11 — насосная установка, L — сливной клапан.

Снабжение смазочным

Расход смазочного приблизительно равен 100% расхода горючего. На корабль его подают прямо в бидонах лифтом; подавать его трубопроводом, в силу большой вязкости, при незначительных

количествах невыгодно. Кроме того в зимних условиях очевидно нужно будет предусмотреть подогрев бидонов.

Хранится смазочное в складе в баке или бидонах. При учете двойного запаса, считая, что бидоны устанавливаются в n рядов (чаще в 2 ряда), площадь, занимаемая бидонами, весом netto 16 кг определится:

$$F_{\text{ск}} = \frac{2 Q \cdot 0,3^2}{16 \cdot n} = 0,011 \frac{Q}{n}. \quad (28)$$

При определении площади склада необходимо учесть проходы.

При малых количествах смазочного этот склад соединяют со складом тросов, блоков и других запасных частей. Для последнего площадь в 15—20 м² вполне достаточна.

Помещается этот склад возможно ближе к месту подачи на корабль.

Снабжение водой

Вода на корабле требуется для двух целей: для пополнения израсходованного балласта и для бытовых нужд.

Балласт расходуется при отправлении корабля для подъема на высоту полета, причем высота отчасти набирается динамически. Часть балласта расходуется при операции причала для натягивания тросов.

Определять расход балласта заранее не представляется возможным, но нужно считать, что балласт на корабле составляет 9% от подъемной силы.

Вода для бытовых нужд, если даже считать по 25—30 л на человека, заметной величины в общем количестве не представляет, ее можно не учитывать.

Для снабжения корабля водой при сооружении должен иметься водоем с удвоенным против потребности объемом.

Подача воды на корабль производится по трубопроводам. Последние должны быть утеплены и защищены от промерзания в зимнее время, причем в нерабочее время вода должна из труб удаляться через сливной кран в водохранилище.

Диаметр труб должен рассчитываться на наибольший секундный расход или при подаче балласта на корабль или на пожарный расход, который можно принять 10 л/сек.

Для наших расчетов при определении диаметра трубопроводов можно воспользоваться формулой (27), причем скорость подачи воды берут (0,7—1,2) м/сек.

Площадь помещения для установки, подающей воду, легко взять, зная из каталогов габариты фундаментов двигателей и насосов.

Мощность подающей установки можно определить из формулы:

$$N = \frac{1,15 P H}{T \cdot 75 \cdot \eta},$$

где: P — вес подаваемой воды в кг,
 H — высота причального сооружения в м,
 T — время подачи в секундах;
 η — коэффициент полезного действия установки, равный 0,7—0,6;
 1,15 — коэффициент, учитывающий потери напора в трубах.
 Произведя вычисления, получим:

$$N = 0,022 \frac{PH}{T}. \quad (29)$$

В среднем на каждую НР площадь установки можно принять 1 м², для установок мощностью меньше 10 НР площадь надо брать не менее 10 м².

Обслуживание пассажирских операций

Причальное сооружение, не обеспечивающее подачу корабля к земле для обслуживания выхода пассажиров, имеет две платформы приема — одну наверху, другую внизу, один или несколько лифтов и обязательно лестницу. Пассажиры из корабля выходят по специальному мостику (рис. 21), опускаемому с корабля. Он представляет собой часть конструкции коридора. Этот мостик одним из своих концов ложится на перила кольцевой пассажирской платформы, поэтому при проектировании указанной платформы надо учесть расположение выходного мостика у корабля. Мостик должен иметь возможность двигаться по перилам платформы или вместе с ними, как в вертикальной плоскости (при качании корабля), так и горизонтальной (при изменении направления ветра). С этого мостика пассажиры по небольшому трапу спускаются на платформу. Ширина платформы, чтобы не мешать движению мостика, не должна быть менее 1,2—1,5 м. Снаружи она ограждается перилами с сеткой высотой не менее 1,5 м.

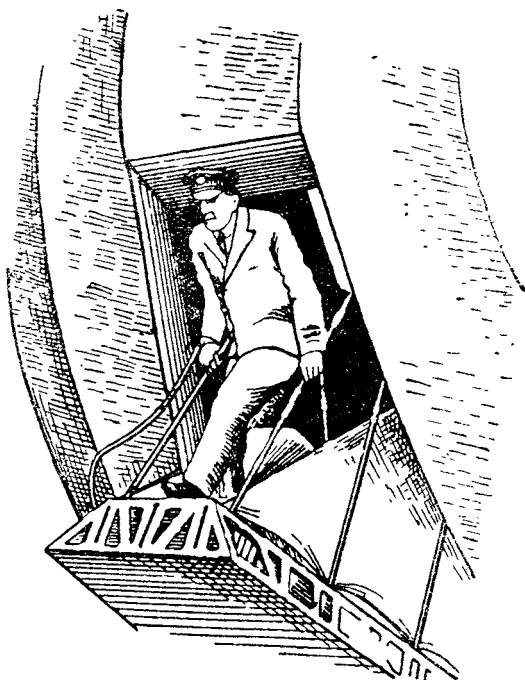


Рис. 21. Мостик для выхода из корабля.

С платформы пассажиры спускаются по лестнице на этаж ниже на платформу приема, где устанавливается лифт. Эта плат-

форма, чтобы улучшить условия ожидания, должна иметь стены даже если все сооружение не обшито. Размеры этой площадки должны позволить вместиться всем пассажирам, входящим в лифт и выходящим из него. Полагая число пассажиров, поднимаемых лифтом, — s , а норму площади на человека — $1 м^2$, получим:

$$F_1 = 2s. \quad (30)$$

Такая же площадь необходима и внизу при выходе из лифта.

Производительность лифта рассчитывается на наибольший односторонний поток, так как обратный поток обслуживается обратными рейсами. Время на переброску пассажиров должно быть более ограничено, так как лифт обслуживает еще и грузовые операции. Когда одним лифтом обойтись нельзя, необходимо разделить лифты

по роду обслуживания — пассажирские, грузовые, служебные.

Потребная площадь пассажирского лифта при высоте подъема h_1 определится так:

$$F = \frac{f}{vT} [2S (h_1 + vt) + vT],$$

а время работы:

$$T = \frac{2f \cdot S}{v} \frac{(h_1 + vt)}{(F - f)}, \quad (31)$$

где: f — норма площади на человека, которую можно взять из графика на рис. 22 (средняя величина $0,3 м^2/чел.$);

v — скорость лифта в $м/мин$, ее обычно берут ($25—40$) $м/мин.$;

t — время для стоянки лифта, равное $2 мин.$;

S — число людей в одностороннем потоке (количество высаживаемых пассажиров и команды может быть взято из эксплуатационных расчетов линии);

T — время работы лифта.

Площадь грузового лифта определится из формулы:

$$F_{г.л} = \frac{2fP}{vT} (h_1 + 2v) + 0,5, \quad (32)$$

где: P — количество перебрасываемых грузов в $т$,

f — норма площади на $1 т$ груза, которая определяется в зависимости от рода перевозимых грузов.

В случае небольшого грузооборота, когда можно обойтись одним лифтом, площадь кабины можно подсчитать по формуле (31), заменив S величиной $S' = S + \frac{P \cdot 1000}{80}$.

Лестницы обычно устраиваются по периметру шахты лифта и имеют ширину $1—1,25 м$, причем перила у них несколько повышены против нормальных.

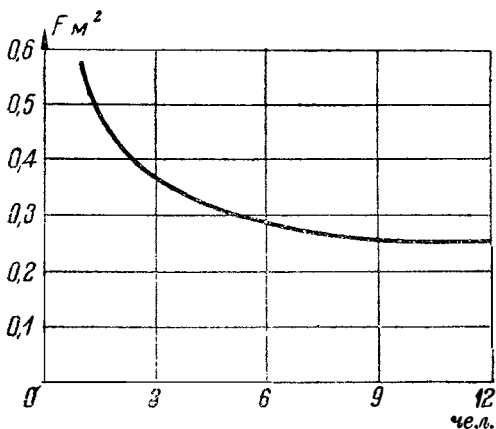


Рис. 22. График нормы площади лифта.

Из пассажирских помещений при причальном сооружении может быть устроен небольшой вестибюль, но рассчитывать на развитие аэровокзальных помещений, при наличии, даже на швартовой точке, целого комплекса авиационных сооружений, не приходится. Служебные же помещения при причальном сооружении должны всегда иметься и, чем мельче масштабы порта, тем более они будут развиты, так как в крупном порту имеется возможность их совместить с другими сооружениями.

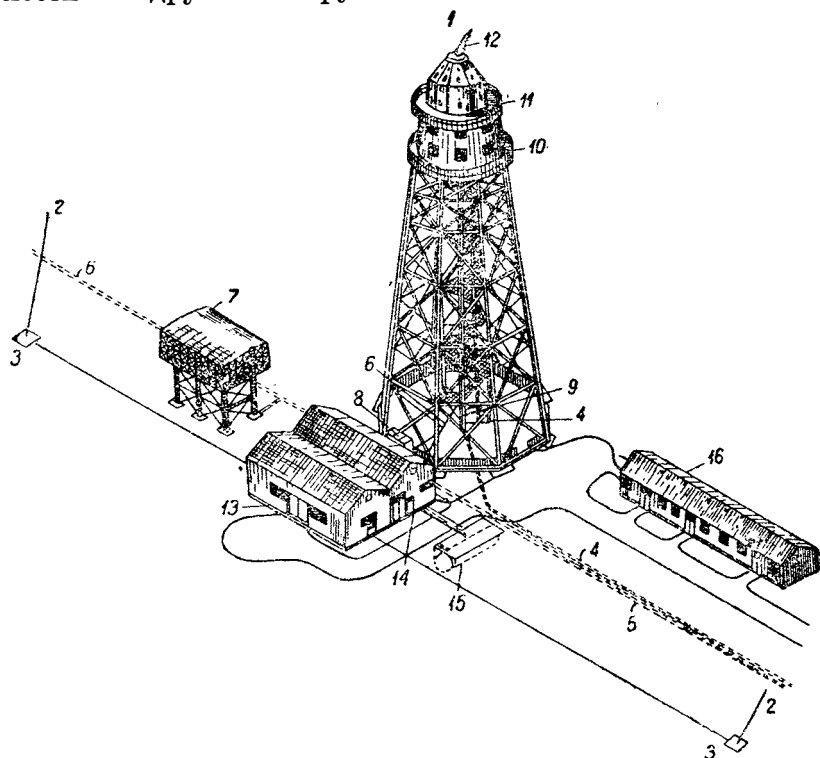


Рис. 23. База в Кардингтоне.

1 — главный трос корабля, 2 — боковые тросы корабля, 3 — массивы для блоков, 4 — газопровод, 5, 6 — водопровод, 7 — водяной бак для балласта, 8 — резервуары для масла, 9 — шахта лифта, 10 — платформа для сигнализации, 11 — платформа для посадки на корабль, 12 — причальное приспособление, 13 — лебедочная, 14 — аппаратная, 15 — бензинохранилище, 16 — здание управления и помещение для команды.

К числу этих помещений нужно отнести административные помещения, комнату отдыха летного состава, помещения для обслуживающего состава, подсобные помещения (уборные, умывальные). Размеры всех этих помещений можно взять из Е.Н.С.П.

К числу служебных же помещений надо отнести помещения специальных служб и сигнальную платформу. Сигнальная платформа помещается на уровне верхней платформы для приема корабля или платформы посадки пассажиров и оборудуется прожекторами.

Помещения специальных служб опять-таки выносятся в здание аэровокзального типа, обслуживающего весь порт, а если это швартовая точка, то нужно предусмотреть комнату для радио-и метеослужб.

Из выстроенных причальных сооружений наиболее полно оборудована причальная башня в воздухобазе в Кардингтоне, ее планировка приводится на рис. 23.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В области причальных сооружений до настоящего момента нет не только твердо установленной классификации, а даже и терминологии. Здесь мы приведем наилучшую, с нашей точки зрения, классификацию причальных сооружений в зависимости от полноты обслуживания производственного процесса.

I. Сооружения, полностью обеспечивающие работу по обслуживанию корабля

К таким сооружениям будем относить сооружения, у которых:

1) полностью механизированы все процессы причала и обслуживания корабля;

2) высота сооружения позволяет держать корабль на стоянке закрепленным за вершину сооружения или имеется оборудование, механически подающее корабль вниз;

3) конструкция сооружения включает или же имеет в непосредственной близости помещения для всех механизмов, помещения для эксплуатационных материалов и для обслуживания пассажирских и грузовых операций, административные помещения, помещения для специальных служб и для отдыха летного состава.

II. Сооружения, обеспечивающие только причал

Эти сооружения имеют следующие показатели:

1) при механизированном или частично механизированном процессе причала сооружение не имеет установок для снабжения корабля; последние находятся вне поля сооружения;

2) высота сооружения обеспечивает стоянку корабля на вершине;

3) конструкция сооружения включает в себя только установки, обслуживающие причал корабля.

III. Сооружения для стоянки

Эти сооружения в общем случае имеют следующие характерные свойства:

1) сооружение при ручной или частично механизированной швартовке к нему позволяет закреплять корабль для стоянки у земной поверхности, предохраняя последний от ударов о землю;

2) обслуживание корабля если и производится, то с установок, находящихся вне сооружения.

Если указанную классификацию сооружений привести в соответствие с классификацией воздушных портов, то:

I тип — сооружение, которое может существовать без всякой зависимости от других сооружений, — является основным сооружением для швартовой точки;

II тип сооружения, — тип причального сооружения для установки в портах I, II и III классов;

III тип — сооружения для стоянки; они необходимы в любом порту, в котором число причальных сооружений не будет соответствовать числу прибывающих кораблей. Сооружения III типа могут устанавливаться и для обслуживания отдельных рейсов корабля в пунктах его остановки. К этому же типу следует отнести и все приспособления для причала и стоянки, переносимые самим кораблем.

Кроме приведенной нами классификации, сооружения классифицируют по конструктивному признаку и по условиям эксплуатации.

На табл. 2 приведена предложенная нами классификация, увязанная с другими существующими классификациями.

Таблица 2

Характер работы сооружения	Место установки	Конструкция				Условия эксплоа- тации
		Тип		Вид		
Сооружения, обеспечиваю- щие причал, стоянку и об- служивание корабля	Швартовая точка	М а ч т ы	Б а ш н и	С к в о з н ы е	О б о л о ч к и	Стационар- ные
Сооружения, обеспечиваю- щие только причал и стоянку	Возд. порты I, II и III кл.					Стационар.
						Передвижн.
Сооружения для стоянки	Возд. порты всех классов	Якоря (низкие мачты)	Мертвые якоря		Стационар- ные	
			Гибкие тросы		Передвижн.	

5. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Причальные сооружения по конструкции разделяются на конструкции башенного типа (башни) и мачтового типа (мачты).

Конструкция называется башней, если она самоустойчива; если же ее устойчивость зависит от поддерживающих ее расчалок, то она будет называться мачтой.

Мачтовые конструкции сравнительно дешевы, но очень затрудняют процесс причала и дают беспокойную стоянку корабля, в силу больших возможных качаний вершины. Поэтому мачтовые конструкции употребляются для небольших кораблей в качестве

временных сооружений или же в качестве средств стоянки при закреплении корабля в двух точках. Для крупных кораблей 50 000 м³ и больше причальное сооружение необходимо строить в виде башни, так как в этом случае обслуживание пассажирских и грузовых операций все равно потребует значительного уширения тела конструкции, а следовательно и увеличения устойчивости.

Размеры причального сооружения целиком зависят от его эксплуатационного назначения и типа обслуживаемых кораблей.

В процессе причала корабль иногда имеет диферент на корму, а кроме того при стоянке возможны качания корабля в вертикальной плоскости, поэтому причальные сооружения должны быть достаточно высоки, во избежание опасности удара о землю кормовыми частями корабля. Этого можно достигнуть (рис. 24), назначив высоту сооружения следующей:

$$h = L \sin \alpha, \quad (33)$$

где L — длина корабля по его оси, а α — угол наклона прямой AO к горизонту; последний обычно принимается равным 15°, но для крупнейших кораблей последнего вре-

мени его можно уменьшить до 12°, так как величина угла отклонения оси корабля от горизонтального положения регулируется автоматическими приборами, установленными на корабле.

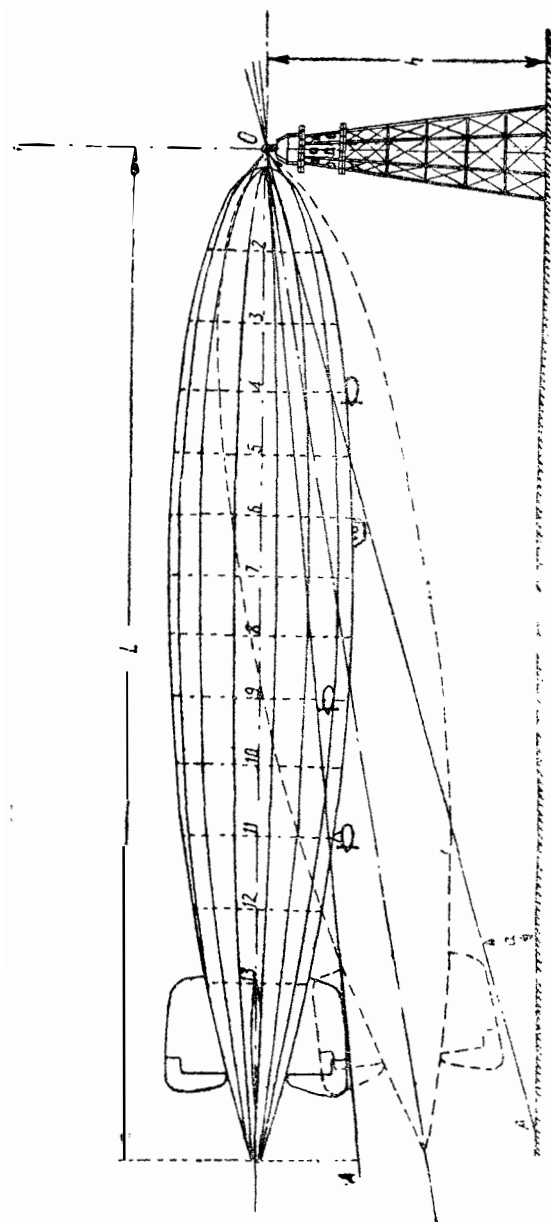


Рис. 24. Определение высоты причального сооружения.

Для полужестких кораблей, в силу их большой подвижности на причале, берут:

$$h = 0,3 L.$$

Иногда дают зависимость высоты сооружения от объема корабля u . Если принять $\sin \alpha = 0,21$ и обозначить удлинение корабля через λ , то:

$$h = 0,26 \sqrt[3]{u \lambda^2}.$$

Определенная по этим формулам высота дает расстояние оси корабля от земной поверхности.

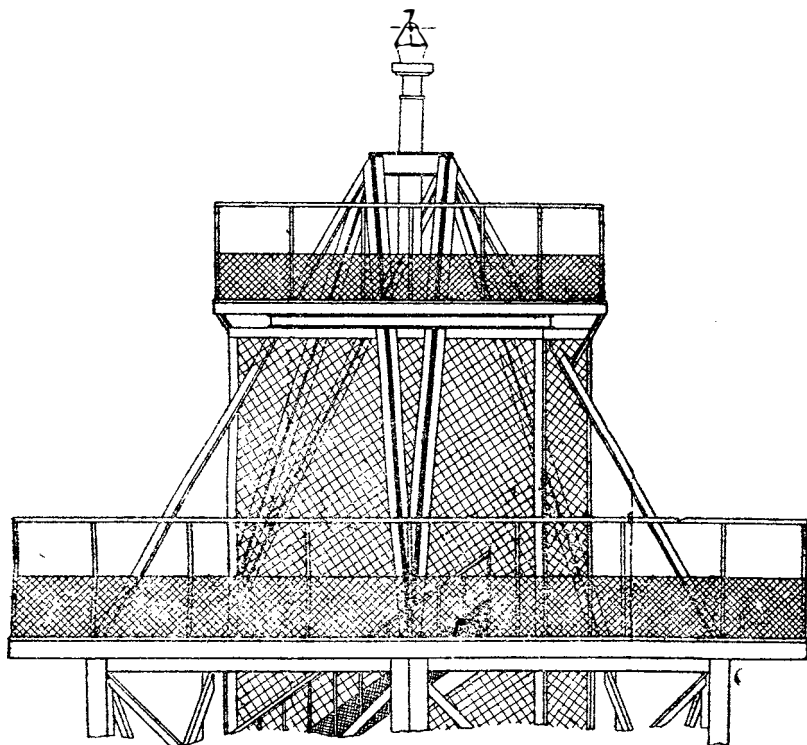


Рис. 25. Система передачи усилий на причальное сооружение.

Расстояние от полученной точки до оси карданного подвеса делается больше $\frac{h}{2}$ [см. формулу (12)] в зависимости от [конструкции воронки. Кардан подвешен к специальной конструкции, передающей усилия на тело причального сооружения. В мачтовых конструкциях эта переходная часть выполняется в виде стержневого конуса, причем вверх стержни не сходятся в одну точку, а соединяются с рамой, поддерживающей подшипники карданного подвеса (рис. 25). Наклон этих стержней должен обеспе-

чить свободу движения нижней части причального приспособления. В башенных конструкциях такое приспособление неудобно в силу того, что при стержнях, идущих к каждой грани сооружения, создается неопределенность в работе стержней, а следовательно и в передаваемых от них на конструкцию силах; при трех же стержнях некоторые части несущей конструкции бывают чрезвычайно перегружены, что вызывает излишний расход материала.

В башенных конструкциях эту промежуточную часть выполняют в виде клепаной из листов будки причального механизма. Минимальные размеры этой будки указаны выше.

Наружные очертания будки причального механизма не должны мешать свободным колебаниям корабля в вертикальной плоскости. Для получения предельных ее очертаний отклоняют ось корабля

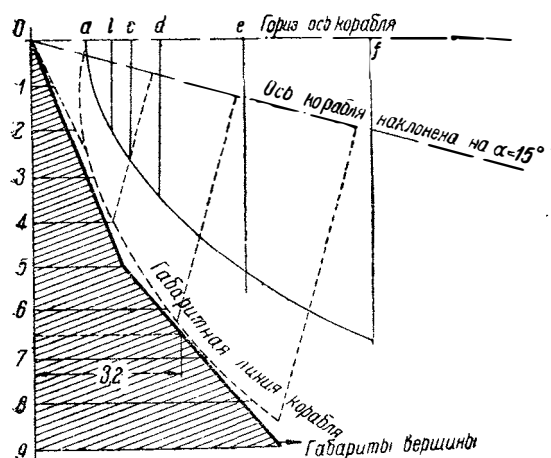


Рис. 26. Габариты верхней будки.

на угол α и делают обвод передней части корабля; полученная линия и будет давать предельную величину будки (рис. 26). Будка соединяется с конструкцией причального сооружения обычно на уровне платформы приема пассажиров, которая, как уже было сказано выше, делается так, чтобы на нее можно было сбросить десантный мостик с корабля. Минимальная ширина причального сооружения на уровне этой платформы определяется из условия размещения шахты лифта.

При квадратной шахте и при наружном размере ее, равном a_1 м, диаметр окружности (в метрах), на которой будут расположены оси опорных стержней, можно брать:

$$d = 1,41 a_1 + 0,6. \quad (34)$$

Если этот размер окажется меньше d , полученного из формулы (15), то размер должен быть взят по последнему.

Несущая конструкция причального сооружения, для обеспечения устойчивости, к низу уширяется. Обычно это уширение ведет равномерно с углом отклонения от вертикали в $6-7^\circ$. Но, как показали исследования¹, наивыгоднейшей формой по вертикали будет форма, составленная из цилиндрической верхней части высотой $\sim 0,5-0,6 h$ и последующей конической части, уширяющейся вниз до требуемых размеров.

¹ М. А. Курьшев, Пределы высоты деревянных причальных мачт.

В нижней части, внутри несущей конструкции причального сооружения, размещают все обслуживающие помещения, вынося пассажирскую и бытовую группу, если они не размещаются, в отдельные помещения.

Очертания конструкции в плане могут быть самые разнообразные. Для мачтовых конструкций предпочитают четырехугольное сечение — оно позволяет очень легко образовывать пространственную систему путем соединения полков уголков, поставленных в четырех углах мачты, системой раскосов и стоек. Для придания жесткости системе ставятся горизонтальные диафрагмы. При невысоких мачтах — их тело собирают из нескольких жестко связанных труб. Вообще говоря, форма тела мачты в плане не имеет существенного значения в силу незначительности поперечных своих размеров. Форма в плане имеет существенное значение для конструкций башенного типа. Большие их размеры в поперечном направлении создают большие площади сопротивления ветру, а расположенный по оси лифт затрудняет жесткое раскрепление наружных граней.

Наилучшим сечением тела башни в отношении обтекаемости будет круг или многогранник с большим числом граней, наилучшим — треугольное сечение. Если при одной и той же площади вертикальной проекции принять силу действия ветра на цилиндрическую башню за единицу, то давление ветра на башню коническую будет равно 1,24, на четырехгранную — 2,29, а на трехгранную — 2,81.

Круглое, кольцевое сечение у причальных башен выполняют из железобетона или из дерева. Железобетонная башня круглого сечения делается в виде трубы, в большей своей части постоянного радиуса (рис. 27). Толщину стенок берут больше 15 см. Количество арматуры около 0,8% от сечения бетона. Постоянные размеры по высоте позволяют снизить расход на опалубку до 5—7% от стоимости сооружения, последнее же и делает рента-

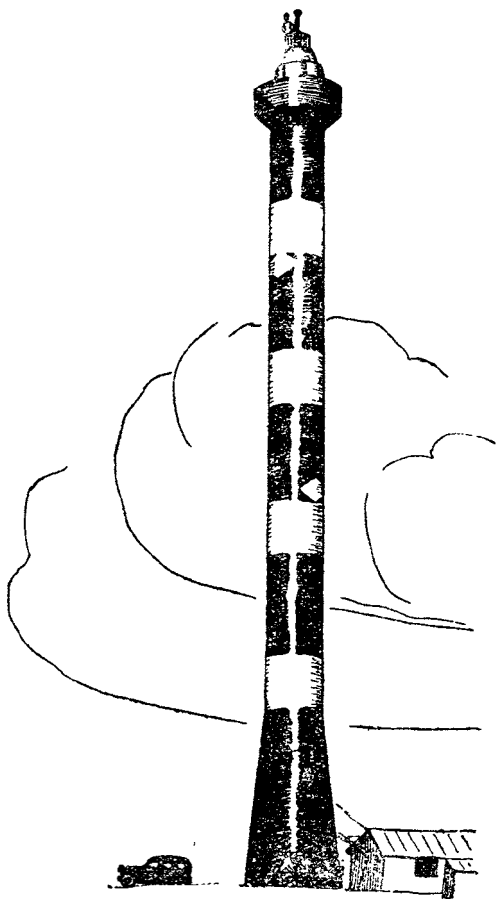


Рис. 27. Железобетонная башня.

большим применением железобетона в таких конструкциях. Употребляя ползучую опалубку, приходится ставить джековые прутья через 1,25—1,75 м, диаметром в 25 мм и больше. Сечение джековых прутьев засчитывают в рабочую площадь арматуры. Обычная вертикальная арматура диаметром 8—12 мм ставится через 12—20 см.

Горизонтальная, кольцевая арматура ставится в виде стержней диаметром 6—9 мм через 20—25 см по высоте.

Деревянная башня круглого сечения (рис. 28) может быть выполнена в виде оболочки, пространственная работа которой

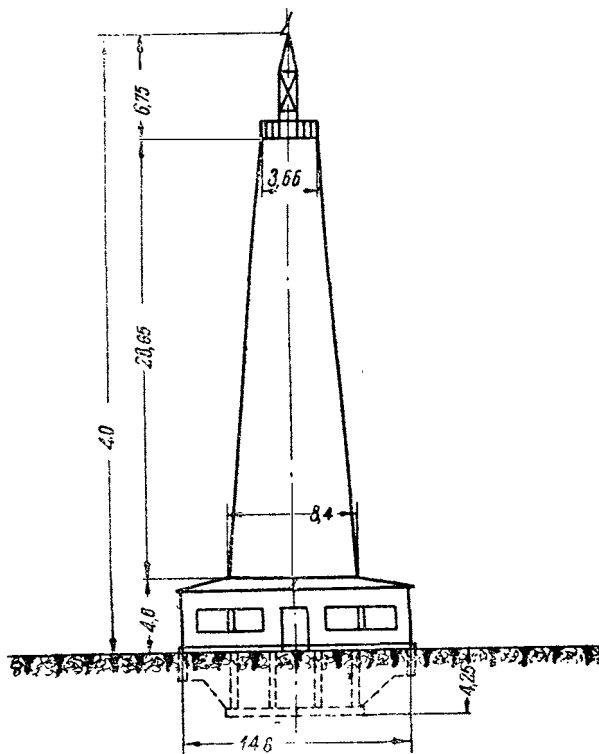


Рис. 28. Деревянная башня-оболочка.

обеспечивает очень малый расход материала. Принимая во внимание, что дерево само по себе очень дешевый материал, а при малом расходе дерева в оболочках и расход металла (3—7% от веса дерева) тоже мало увеличивает стоимость сооружения (так как металл здесь расходуется главным образом в виде гвоздей), можно сказать, что такие конструкции получают большое распространение в нашем Союзе.

Деревянная оболочка состоит из двух слоев обшивки. Доски обшивки идут каждая под углом в 60° к горизонту и под углом в 60° друг к другу. Обшивка пришивается к вертикальным доскам, работающим на нормальные силы от изгиба конструкции, как кон-

сольной балки. Для увеличения жесткости на определенных интервалах по высоте расположены диафрагмы, однако не мешающие лифту.

Для металлических сооружений небольшой высоты можно рекомендовать систему Шухова, — прямые металлические стержни, соединенные кольцами на расстоянии 1,5—3 м, образуют оболочку в виде гиперboloида. Кольца подбираются так, чтобы соотношение моментов инерции кольца и стойки находилось в пределах 1—2.

Для башен большой высоты — 30 и более метров — приходится ставить несколько гиперboloидов один на другой, а их кольцевые пояса усиливать;

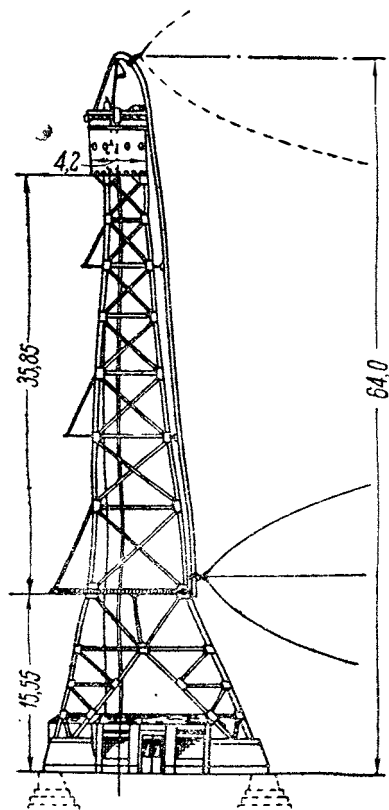


Рис. 29. Башня в Детройте.

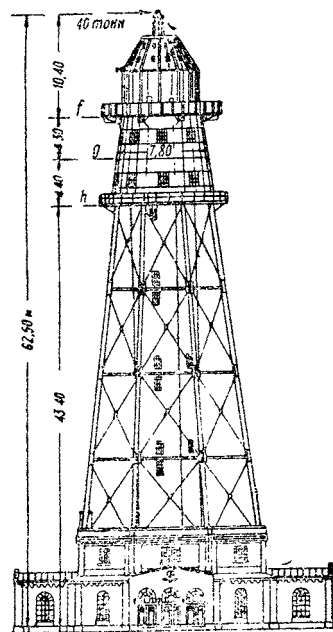


Рис. 30. Башня в Монреале.

поэтому до настоящего времени мы еще не имеем такого рода сооружений, приспособленных для причала кораблей.

Многогранные конструкции выполняются в металле и в дереве.

На рис. 29 изображена причальная башня в Детройте, она имеет треугольное сечение, но зато ее размеры ограничены, в ней нет лифта, и только в нижней части ее конструкция уширяется в виде отдельного опор.

Типичной же для металлических конструкций будет форма, изображенная на рис. 30. Конструкция состоит из мощных опорных ног, установленных по ребрам, и системы раскосов и поясов.

Опорные ноги в клепаных конструкциях обычно собираются из двух швеллеров и двутавров большого номера. В конструкциях сварных их можно делать квадратного или ромбовидного сечения, с гранями, направленными по направлению граней сооружения.

Раскосы устроены в виде пересекающихся, крестообразно установленных стержней. Из рисунка видно, что раскосы по сравнению со стойками имеют малое сечение, последнего достигают тем, что заставляют раскосы работать только на растяжение. Для этого им придают большую гибкость, раскос при сжатии теряет устойчивость и все воспринимает на себя раскос растянутый.

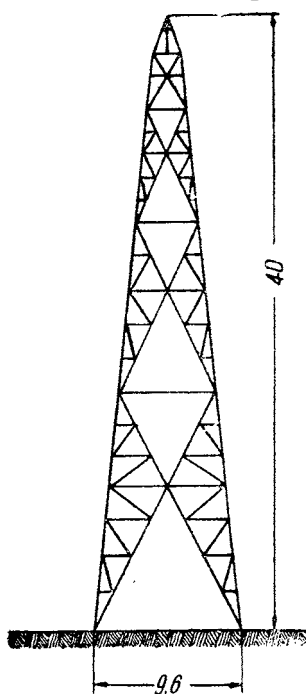


Рис. 31. Башня со шпренгельной решеткой.

с перекрещивающимися раскосами, но работающими только на сжатие. Это выгодно, потому что примыкание раскосов к узлу решается простым упором в прокладки. Решать же пространственный узел в дереве так, чтобы его элементы могли выдерживать значительные знакопеременные силы, очень сложно и неэкономично. Опорные ноги делаются из бревен, причем можно бревна сдваивать, но страивать бревна в одной ноге не рекомендуется, в этом случае трудно обеспечить одинаковую работу всех трех элементов. Раскосы и пояса делают обычно из брусев.

Для определения в многогранных конструкциях числа граней воспользуемся зависимостью между стороной многоугольника и диаметром описанной окружности (рис. 32):

Кроме указанной решетки в целях укорочения длины раскосов применяется полураскосная решетка. Для сохранения наклона раскоса к поясу под углом 45° приходится часто менять расстояние между горизонтальными поясами. Стержни полураскосной решетки все же получаются мощного сечения, так как они работают на знакопеременные усилия (рис. 84).

При небольших высотах очень хороша шпренгельная решетка, так как она обеспечивает жесткость даже четырехгранной башни, без дополнительных креплений. Сечение сжатых стержней в силу коротких панелей получается относительно небольшое. Примером использования такой решетки для причального сооружения может служить конструкция, спроектированная инж. Грибановым (рис. 31).

Однораскосная решетка может быть рекомендована только при незначительной высоте, когда длина раскоса будет в пределах 2—5 м, а это при высоких сооружениях вызывает излишний расход материала на пояса.

Для конструкций, выполняемых из дерева, может быть рекомендована решетка

$$b = d_n \sin \frac{180^\circ}{n}, \quad (35).$$

где: b — размер грани;

d_n — диаметр окружности, описанной по центрам опор в основании сооружения; его величина получается или из размеров сооружения вверху + расхождение граней, или из соображений планировки помещений, размещаемых внутри тела причального сооружения;

n — число граней. Число граней надо выбирать так, чтобы получаемые размеры b находились в пределах 5—6 м. Давать большие размеры граням внизу, — значит увеличивать напрасно гибкость. Брать размеры меньше 4,5—5 м невыгодно вследствие

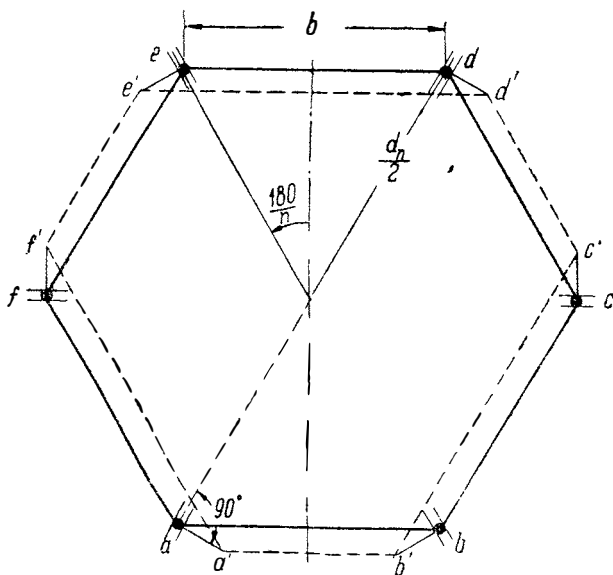


Рис. 32.

уменьшения размеров грани с высотой, а значит и необходимости часто менять размеры расстояний между поясами. Если оставлять расстояния между поясами одинаковыми, то в узкой части раскосы будут подходить к опорам под очень острым углом, около 30° и меньше, что невыгодно отзывается на их работе.

Число граней лучше выбирать нечетным, так как только при этом числе многогранная конструкция будет геометрически неизменяемой. При определении статической определимости нужно считать каждый опорный узел закрепленным двумя стержнями, т. е. так, как будто каждый узел лежит на цилиндрическом катке, позволяющем ему двигаться или по биссектрисе угла между гранями или по направлению грани, что вполне обеспечивается обычными способами закрепления ног к фундаменту.

Геометрическая изменяемость в случае четного числа граней

в правильном многоугольнике легко доказывается способом изображающих точек.

Пусть взятый шестиугольник имеет возможность деформироваться по биссектрисам углов, тогда радиусы вращения вершин будут направлены по перпендикулярам к биссектрисам. Выберем изображающую точку a на перпендикуляре к направлению движения точки a , тогда прямая $a'b'$, параллельная ab , на пересечении к перпендикуляру перемещения точки b даст другую изображающую точку и т. д. В конце концов, соединив все изображающие точки, мы получим фигуру, подобную первоначальной, что, как известно, говорит о геометрической изменяемости первоначальной фигуры. В случае пилона многогранного сечения с четным числом граней неизменяемость системы получают путем установки горизонтальных диафрагм, которые значительно усложняют конструкцию.

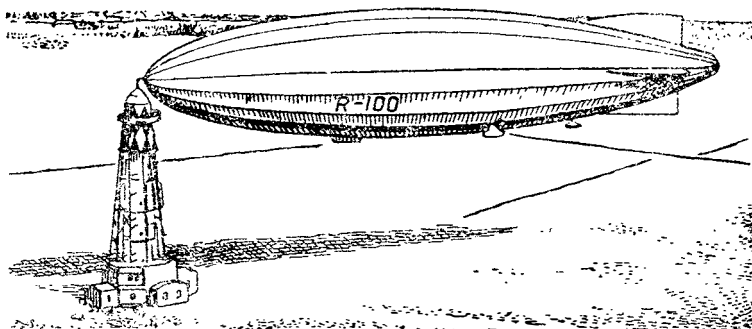


Рис. 33. Общий вид башни в г. Монреале.

Многогранные сооружения для обеспечения лучшего ухода за установками, обслуживающими работу сооружения, а также для защиты несущей конструкции снаружи могут быть обшиты и, если это требуется климатическими условиями, то и утеплены.

Вся обшитая поверхность окрашивается в три цвета: черный, белый и желтый—наиболее заметные цвета. Такая раскраска хорошо видна на рис. 33, изображающем причальное сооружение в Монреале со стоящим на причале кораблем $R-100$. На этом же рисунке хорошо видно, что в нижней части сооружение имеет постройку в два этажа, в которой и размещены установки, обслуживающие причал, и помещения для специальных служб.

6. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПРИЧАЛЬНОЕ СООРУЖЕНИЕ

Причальное сооружение в своей работе подвергается действию следующих сил:

- 1) собственного веса несущей конструкции и веса оборудования, установленного на сооружении;
- 2) нагрузки от снега;
- 3) давления ветра;
- 4) нагрузки при причале корабля.

Собственный вес конструкции

Истинный вес конструкции можно определить только после ее возведения. Существующие предварительные методы определения веса всегда отличаются большей или меньшей неточностью. Собственный вес несущей конструкции по сравнению с нагрузкой всегда дает малую величину напряжений порядка 10%. Так что ошибка в определении собственного веса на 25% по отношению к нагрузкам даст ошибку порядка $\sim 2\%$. Для такого приближенного определения собственного веса конструкции будем рассматривать всю конструкцию работающей как консоль на изгиб.

Тогда будет иметь место равенство:

$$\sigma = \frac{M}{W},$$

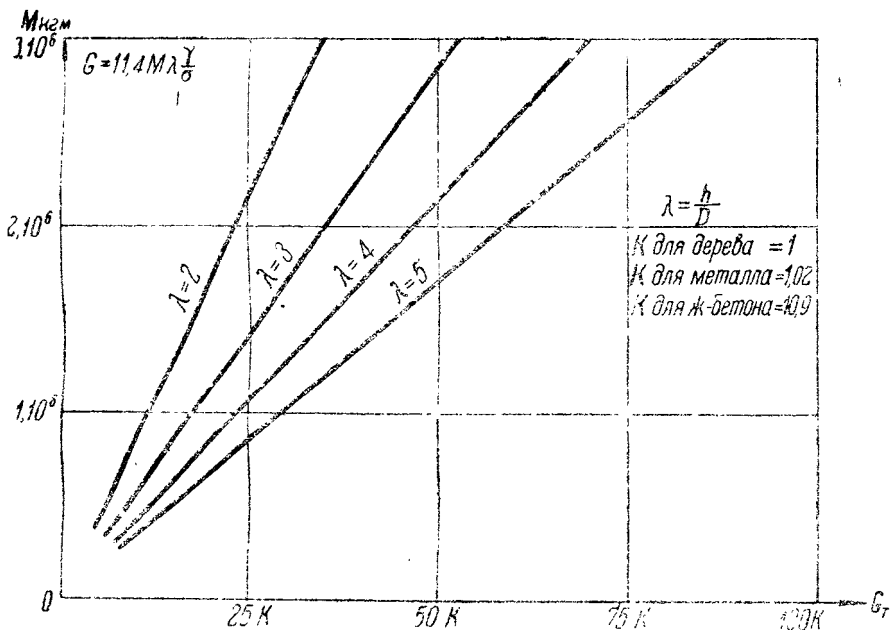


Рис. 34.

предположив сечение по кругу, приближенно будем иметь:

$$W = \frac{F d}{4},$$

тогда:

$$F = \frac{4 M}{d \sigma}.$$

Учтя, что на нормальные усилия от моментов будут работать продольные элементы, а их вес по подсчетам, произведенным в НИИИ, составляет 40—50% от веса всего материала, нужно будет при подсчете веса F удвоить. Кроме того продольные элементы рассчитываются на продольный изгиб, причем значение φ получается $\sim 0,7$.

Для определения веса получим следующую формулу:

$$G = Fh\gamma = 11,4 M \frac{h}{d_n} \frac{\gamma}{\sigma}, \quad (36)$$

где: γ — объемный вес материала;

d_n — размер сооружения по низу;

M — максимальный изгибающий момент от горизонтальных нагрузок; его можно принимать для предварительных вычислений равным $1,4 Hh$, а H определять по формуле (46);

σ — допускаемые напряжения;

h — высота сооружения.

Графически эта формула дана на рис. 34.

По горизонтальной оси на диаграмме отложены веса сооружения в тоннах, но не умноженные на коэффициент K , характеризующий материал. Для дерева этот коэффициент равен 1, для металла — 1,02, для железобетона — 10,9.

Вес оборудования необходимо брать по фактическому весу, ориентируясь на имеющийся материал (см. приложения). Всякого рода временные нагрузки можно подсчитать по Е. Н. С. П., причем они имеют незначительную величину, так как снег будет легко сдуваться ветром, а количество пассажиров на площадках не может быть велико.

Ветровые нагрузки на причальные сооружения

Ветровая нагрузка, действующая на причальное сооружение, представляет собой, в силу большой высоты сооружения, основную нагрузку.

Ветер влияет на сооружение:

- а) непосредственным давлением на конструкцию сооружения,
- б) давлением на корабль, которое передается в верхней части сооружения на несущую конструкцию.

Наблюдая обтекание сооружения воздушным потоком, мы для каждого сечения сможем построить эпюру распределения давления. Общий вид эпюры на большей части высоты сооружения будет сохраняться; изменения будут наблюдаться только в величинах давления.

Форма эпюры давления для каждого сечения получается весьма различной, если менять направление ветра в горизонтальной плоскости, и только у круглого сечения картина распределения давлений по сечению остается постоянной. Картина распределения давлений в горизонтальной плоскости имеет существенное значение для расчета деталей сооружения, но не сказывается на работе основных несущих его частей.

Для прочности всего сооружения при ориентировочных подсчетах важна общая составляющая всех векторов давления и ее изменение по высоте.

Если взять круговое очертание сечения сооружения, то мы получим картину обтекания, изображенную на рис. 35.

Указанную эпюру распределения давления можно для удобства вычислений заменить эпюрой, выражаемой аналитически.

Тогда распределение давления на стороне, обращенной к ветру, выразится формулой:

$$p_{\alpha} = (1 - 2,5 \sin^2 \alpha) p, \quad (37)$$

где: p — скоростной напор,

α — угол, образованный нормалью к поверхности и направлением ветра, при отсчитывании углов по часовой стрелке.

С обратной стороны отсасывание выразится следующим образом:

$$p_{\alpha} = -(0,3 + 1,2 \sin^2 \alpha) p. \quad (38)$$

На рис. 36 приведены эпюры давления, принятые по нормам (пунктир) и заменяющие их кривые, выраженные формулами (37) и (38) (сплошная линия). Как видно, кривые достаточно близки друг к другу.

Для определения давления ветра на 1 м высоты сооружения в на-

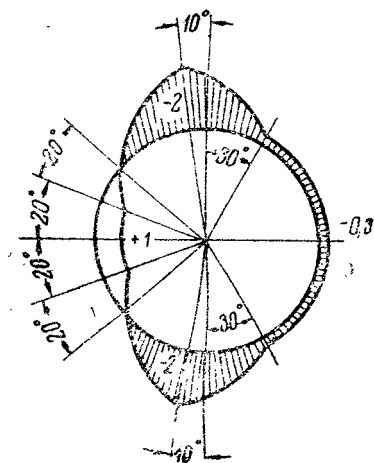


Рис. 35. Диаграмма распределения давления ветра.

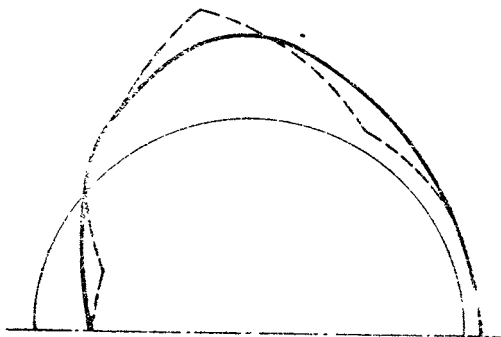


Рис. 36. Диаграмма давления ветра (аналитическая).

правлении ветра, просуммируем проекции всех векторов давления на это направление.

Сила давления ветра:

$$W = 2 \int_0^{\pi/2} (1 - 2,5 \sin^2 \alpha) p r \cos \alpha d\alpha - 2 \int_{\pi/2}^{\pi} (0,3 + 1,2 \sin^2 \alpha) p r \cos \alpha d\alpha.$$

Произведя интегрирование, получим:

$$P = 1,334 pr.$$

Тогда давление на 1 м² вертикальной проекции сооружения будет:

$$p = \frac{1,334}{2r} pr = 0,667 p.$$

Зная, что скоростной напор равняется $-\frac{v^2}{16}$, и округляя коэффициент до 0.6 (как принято в нормах), получим следующее выражение для давления ветра на цилиндрическое сооружение:

$$p = 0,6 \cdot \frac{v^2}{16} = 0,0374 v^2, \quad (39)$$

где: p — величина давления на 1 м² проекции сооружения на плоскость, перпендикулярную направлению ветра,
 v — скорость ветра в м/сек.

Для других форм сечений величина давления ветра на 1 м^2 проекции сооружения на вертикальную плоскость (или, что то же, на плоскость, перпендикулярную направлению ветра) прямому подсчету не поддается; она может быть вычислена по этой же формуле, но с некоторым поправочным коэффициентом:

$$p = k_1 \cdot 0,0374 \ v^2. \quad (40)$$

Этот поправочный коэффициент k_1 можно вывести на основании, правда очень немногочисленных, продувок моделей башен в ЦАГИ. При продувках были получены коэффициенты сопротивления. Пользоваться абсолютными величинами этих сопротивлений для определения действительных давлений нельзя в силу отличия действительного потока от воздушного потока в трубе, но так как косвенная сторона явления сохраняется, то можно воспользоваться отношениями этих коэффициентов. Если мы для цилиндрической башни примем k_1 равным единице, то для других очертаний сооружения величины k_1 будут следующие:

Таблица 3

	Конструкция сооружения	Величина k_1
1	Цилиндрическая башня обшитая	1,00
2	" " решетчатая	1,33
3	Коническая башня обшитая	1,24
4	4-гранная башня решетчатая	0,85
5	3-гранная башня сплошная на ребро . .	1,62
6	4-гранная башня сплошная на грань . .	2,29
7	3-гранная башня сплошная на грань . .	2,81

Коэффициенты для этой таблицы получены путем отнесения фактических коэффициентов сопротивления к коэффициенту сопротивления цилиндрической башни в опытах ЦАГИ.

Повышение коэффициента в случае решетчатого цилиндрического сооружения находит свое объяснение в образовании завихрений за элементами решетки, как передних, так и задних (по отношению к ветру) граней, а также сопротивления лестниц, лифта и других устройств.

Величина давления ветра при расчете причального сооружения в Монреале принималась равной 150 кг/м^2 , а в Кардинг-

тоне — 125 кг/м^2 , что соответствует скоростям ветров 49 м/сек и 45 м/сек .

В этом случае даны излишние, ничем не обоснованные, запасы прочности: максимальные ветры на высоте этих сооружений на большей части территории СССР не превышают 36 м/сек , причем сила ветра в основании сооружения должна быть сильно уменьшена.

Для определения расчетной скорости ветра есть более объективный показатель, чем применяемые до сих пор условные скорости, даваемые в нормах. Причалное сооружение подвергается непосредственному действию ветра и воздействию корабля до тех пор, пока скорость ветра не сравняется со скоростью движения корабля (на которую рассчитана конструкция последнего). После этого корабль отчаливает, и, значит, при более сильных ветрах, сооружение оказывается облегченным, а так как влияние корабля весьма значительно, то, в случае отсутствия корабля на сооружении, оно может выдержать, ветры исключительной силы. Следовательно максимальную скорость ветра для расчета нужно брать равной скорости корабля.

Изменение скорости ветра с высотой оказывает существенное влияние на величину давления ветра, а следовательно и на усилия в конструкции сооружения.

Для учета этого изменения было предложено несколько эмпирических формул.

Формула Гелльмана дает следующую зависимость скорости ветра на высоте h , обозначенную v_h , от известной скорости v_0 , измеренной на высоте h_0 :

$$v_h = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{5}}.$$

В 1935 г. изданы Е. Н. С. П. ОСТ 7626/а, где это изменение скорости ветра с высотой принято по формуле, близкой к Гелльману:

$$v_h = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (41)$$

причем за v_0 принимается скорость на высоте $h_0 = 16 \text{ м}$.

Для сравнения обе кривые, выраженные в давлении ветра, приведены на рис. 37.

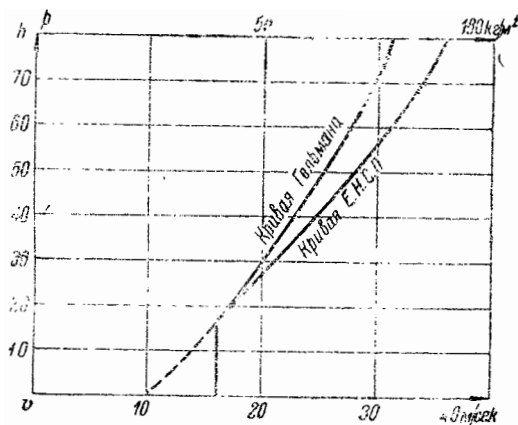


Рис. 37. Распределение ветра по высоте.

Кривая Е. Н. С. П. дает более резкое убывание давления ветра с приближением к земле, следовательно ею при расчетах пользоваться выгоднее.

Так как на высоте башни расчетную скорость ветра брать больше чем максимальная скорость корабля незачем, то мы сможем, пользуясь формулой (41), выразить скорость и давление ветра на любой высоте причального сооружения через максимальную допускаемую скорость:

$$v_x = v \left(\frac{h_x}{h} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (42)$$

$$p_x = 0,0374 k_1 v^2 \left(\frac{h_x}{h} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (43)$$

Здесь через v_x и p_x обозначена скорость и давление ветра на интересующей нас высоте h_x , h — высота сооружения, а v — максимальная скорость корабля.

Воздействие корабля на сооружение

При обтекании корабля ветром создаются силы, действующие на корабль и отрывающие его от причальной воронки. Указанные силы достигают больших величин и зависят от большого числа факторов, учесть которые полностью не представляется возможным. Так например Скотт в своем докладе от 15 июля 1930 г. приводит результаты наблюдений за кораблем R—101.

При наблюдениях было установлено, что при средней скорости ветра в 26,8 м/сек и наличии порывов ветра, доходящих до 37 м/сек, сила, отрывающая дирижабль от сооружения, не превышала 10—11 т. Были однако случаи, когда скорость не превышала 15,6 м/сек, но порывы ветра очень быстро меняли направление (порыв ветра переменял направление за 1 минуту на 120°), и это вызвало силу отрыва до 15,5 т.

Реакция причального сооружения на корабль (сила, обратная действию корабля на сооружение) определяется при расчете дирижабля на прочность, но для ее определения, если руководствоваться расчетными случаями по Коксу, надо просчитать большое число случаев и из них определить максимальную силу.

Очевидно, что величина силы действия корабля на причальное сооружение во время стоянки не может быть больше той, которую выдерживает носовое устройство корабля. В противном случае корабль оторвется.

При определении силы действия корабля на причальное сооружение нужно найти ту максимальную силу, которая может появиться в носовом закреплении, причем безразлично как аэродинамические силы распределяются по кораблю. Эта сила будет тем больше, чем больше угол между направлением ветра и осью корабля, потому что в формуле, определяющей силу сопротивления, $P = C \rho v^2 S$, коэффициент сопротивления C растет с увеличением угла атаки.

Приведенный в начале этого раздела факт различного давления корабля при одинаковых скоростях ветра и другие наблюдения показывают, что кроме угла, под которым действует ветер, важна и его порывистость. Даже при малых средних скоростях ветра силы давления могут получиться очень большими. Поэтому при определении расчетной силы, приложенной к вершине сооружения, необходимо рассмотреть случай, когда корабль находится под действием порыва ветра.

На рис. 37 изображено положение корабля под действием порыва ветра в одной из плоскостей. Корабль начнет поворачиваться.

Составим уравнения его равновесия:

$$\left. \begin{aligned} H - Q - F_r &= 0 \\ -Y - F_t + P &= 0 \\ F_t C_r - P C_p &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

здесь H и Y — составляющие реакции причальной воронки;
 Q — лобовое сопротивление корабля;

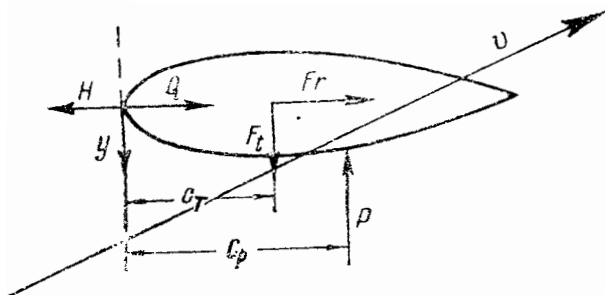


Рис. 38.

P — поперечная аэродинамическая сила, являющаяся функцией от угла поворота φ ;

F_r и F_t — составляющие инерционных сил;

C_r — расстояние до центра тяжести корабля;

C_p — расстояние до точки приложения равнодействующей аэродинамических сил; оно является функцией от угла поворота φ и получается из продувок.

Силы веса и подъемную силу мы не вводим в рассмотрение, так как при рассмотрении равновесия в горизонтальной плоскости они проектируются в точку, а при рассмотрении равновесия в вертикальной плоскости, при уравновешенном корабле, их проекции дают нуль.

Из уравнения (44) следует, что

$$H = F_r + Q.$$

Q мы можем найти по известной формуле:

$$Q = C_x \rho v^2 S. \quad (45)$$

Центробежную силу F_r легко можно найти, выразив ее через угловую скорость:

$$F_r = mr \omega^2 = mC_T \omega^2. \quad (a)$$

Что же касается ω , то ее можно определить из формулы углового ускорения:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{M}{J}.$$

Момент, поворачивающий корабль, будет:

$$M = PC_p, \quad (b)$$

величина же P при отклонении оси корабля от направления ветра до 20° может быть выражена в функции от φ :

$$P = C\rho v^2 S \varphi = A\varphi.$$

Следовательно уравнение (b) примет вид:

$$M = + A\varphi C_p.$$

Работа момента M при повороте корабля на элементарный угол $d\varphi$ будет:

$$dR = -M d\varphi = -A\varphi C_p d\varphi.$$

Эта же работа может быть выражена через приращение живой силы:

$$d\left(\frac{J\omega^2}{2}\right) = J\omega d\omega.$$

Значит:

$$-A\varphi C_p d\varphi = J\omega d\omega.$$

Проинтегрировав последнее уравнение, получим:

$$-AC_p \frac{\varphi^2}{2} + a = J \frac{\omega^2}{2}.$$

Зная же, что при установившемся потоке, когда корабль был уравновешен на каком-то угле φ_0 , угловая скорость была равна нулю, найдем значение a :

$$-AC_p \frac{\varphi_0^2}{2} + a = 0$$

$$a = AC_p \frac{\varphi_0^2}{2}.$$

Следовательно теперь можем определить ω :

$$\omega = \sqrt{\frac{AC_p(\varphi_0^2 - \varphi^2)}{J}}.$$

Подставив это выражение в уравнение (а), получим значение центробежной силы:

$$F_r = mC_T \frac{AC_p}{J} (\varphi_0^2 - \varphi^2),$$

таким образом величина составляющей H выразится формулой:

$$H = C_x \rho v^2 S + mC_T \frac{AC_p}{J} (\varphi_0^2 - \varphi^2). \quad (46)$$

Так как для расчета причального сооружения интересно знать наибольшее значение H , то внесем следующие упрощения:

а) порыв может вызвать отклонение ветра на $15-20^\circ$ не только в горизонтальной плоскости, но одновременно и в вертикальной; в этом случае в первом члене формулы (46) C_x нужно будет брать для наибольшего угла отклонения, т. е. для угла 20° ; §

б) для того, чтобы учесть сопротивления выступающих частей корпуса корабля, первый член формулы увеличим на 15%;

с) ρ примем равным $\frac{1}{8}$;

д) для простоты выкладок заменим во втором члене J через mC_T^2 ;

е) примем, что в первый момент действия порыва, когда корабль еще не начал двигаться, угол $\varphi_0 = 20^\circ$, — отклонения больше такого угла трудно предполагать. Угол же φ будем брать равным 5° , т. е. углу, при котором рассчитывают корабль в установившемся потоке.

Допустив все вышеуказанное, получим окончательную формулу для H :

$$H = v^2 S \left(0,144 C_x + 0,114 C_y \frac{C_p}{C_T} \right). \quad (46a)$$

В этой формуле v — максимальная скорость корабля в предположении, что при больших скоростях порывов ветра корабль отчалил от сооружения.

Реакцию Y находят из второй строчки уравнений равновесия (44):

$$-Y = F_t - P;$$

в общем случае:

$$F_t = m r \varepsilon = mC_T \frac{M}{J};$$

$$F_t = mC_T \frac{PC_p}{J}.$$

Подставив это выражение в предыдущую формулу, получим:

$$-Y = P \left(mC_T \frac{C_p}{J} - 1 \right).$$

Введя наши допущения, будем иметь:

$$-Y = 0,011 C_y v^2 S \left(\frac{C_p}{C_T} - 1 \right). \quad (47)$$

Соотношение длин $\frac{C_p}{C_T}$ и коэффициенты C_x и C_y можно получить точно из продувок.

Величину третьей составляющей Z , в случае порыва ветра, отклоняющегося в вертикальной плоскости, можно брать аналогично Q , но коэффициент при C_x будет меньше на 15%, так как не надо учитывать сопротивления выступающих частей:

$$Z = 0,125 C_x v^2 S. \quad (48)$$

К последней величине надо прибавить еще и реакцию воронки, в случае когда на корабле не будет равновесия между подъемной силой и весом корабля.

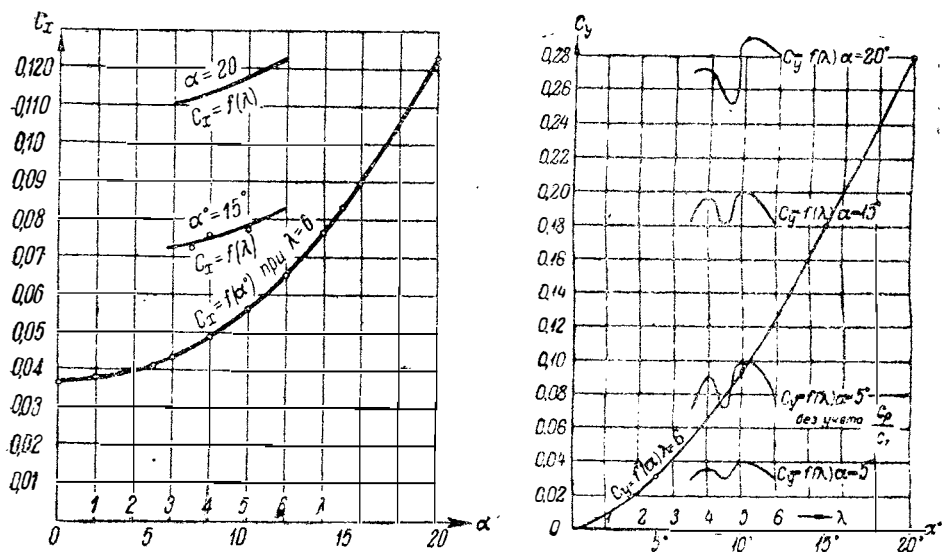


Рис. 39. Коэффициенты сопротивления.

Если произвести вычисления по приведенным формулам с коэффициентами C_x и C_y , взятыми для судов с удлинением $\lambda = 6$, полагая $\frac{C_p}{C_T} = 1,0$, будем иметь (см. рис. 39), для Акрона $H = 27\,300$ кг, для $R = 101$ $H = 15\,100$, а для $N = 1$ $H = 3420$ при $Y = 0$. Если C_p определить точнее, то это очень мало скажется на величине H , но тогда Y будет иметь какое-то, по сравнению с H , небольшое значение, которым все же можно пренебречь.

Проверку силы действия корабля на сооружение в процессе причала можно отбросить, так как даже если сила натяжения в тросе, подсчитанная по формуле (3), окажется и больше H , то все же составляющая R , действующая на сооружение, будет:

$$R = T \sin 30^\circ = 0,5 T.$$

7. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ

Расчет на прочность сводится к определению усилий в отдельных элементах сооружения и подбору по этим усилиям соответствующего сечения. Подбор сечения делается для двух целей: для отбора наиболее выгодного варианта и для получения достаточной прочности при минимальном количестве материала. При подборе сечений в первом случае имеет значение быстрота и легкость работы по определению усилий, причем совсем не требуется большая точность получаемых результатов. Так например, ошибка в определении усилия в 10% не будет иметь решающего значения, так как важно отобрать варианты, дающие явно невыгодные решения, чтобы выбросить их из рассмотрения в дальнейших расчетах.

В случае же окончательного расчета, где подробно рассчитывается каждый узел, очень важно знать усилие наиболее точно. В этом случае от приближенности выкладок может пострадать сооружение. Давать излишние запасы невыгодно экономически, а в целом ряде статически неопределимых систем излишне усиленный стержень может вызвать перераспределение сил.

Очевидно во втором случае, вне зависимости от сложности метода, все же для расчета необходимо выбрать способ, дающий наиболее правильную картину работы сооружения.

При расчете причальных сооружений разделить эти два метода еще выгодно и потому, что приближенные методы, отличаясь очень большой простотой при сравнительно высокой точности, приложимы почти ко всем типам конструкций причальных сооружений, в некоторой степени, универсальны. Точные же методы требуют иногда очень длительных выкладок и для каждого типа конструкции своеобразны.

Предварительные методы определения усилий

Все приближенные методы при расчете конструкций причальных сооружений рассматривают сооружение как консольную балку, заделанную в свои опоры, вне зависимости от того сплошная это конструкция или стержневая. При расчете причального сооружения для упрощения расчетов предполагают, что нормальная составляющая от момента передается на так называемые опорные ноги, а перерезывающая сила на все остальные элементы. В этом заключается второе допущение.

Часто, если система стержневая, равномерную нагрузку распределяют по узлам, вернее, по горизонталям узлов, так как при расчете системы, как балки, нагрузки прикладывают по оси симметрии ее. Нагрузка на такой узел будет в общем случае (при переменной высоте сечения) выражаться величиной (рис. 40):

$$P_i = \frac{p_i h_i}{6} (2B_i + B_{i-1}) + \frac{p_{i-1} h_{i-1}}{6} (B_{i-1} + 2B_i). \quad (49)$$

В случае цилиндрического сооружения $B_i = B_{i-1} = B$

$$P_i = \frac{B}{2} (p_i h_i + p_{i-1} h_{i-1}) . \quad (50)$$

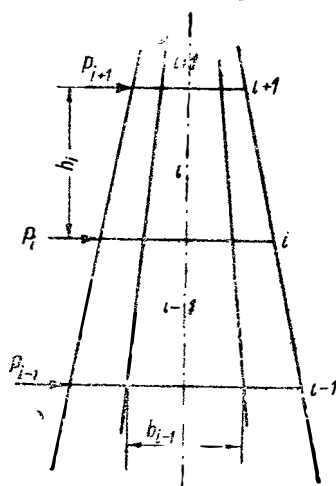
Таким разложением нагрузки по узлам придется воспользоваться при подсчете перерезывающих сил.

Для определения моментов, действующих на сооружение, удобнее прикладывать силы в центрах тяжести отдельных ярусов. Тогда сила действия ветра на весь ярус или зону будет равна:

$$w_i = p_i h_i \frac{B_i + B_{i+1}}{2} , \quad (51)$$

а момент относительно низа яруса:

$$m = w_i x_i = p_i h_i \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \cdot \frac{h_i}{3} \cdot \frac{B_i + 2B_{i+1}}{B_i + B_{i+1}} = p_i \frac{h_i^2}{2} (B_i + 2B_{i+1}) . \quad (52)$$



Во всех приведенных выше формулах величина p_i — давление ветра на квадратную единицу поверхности, — определяется по формуле (40), причем ее величина по высоте отдельной зоны принимается постоянной. Высота зоны берется 10—15 м в зависимости от членения несущей конструкции по высоте.

Как уже было выше сказано, для определения необходимой площади сечения элементов несущей конструкции, идущих вертикально или под небольшим углом, на них передаем все силы, действующие по вертикальной оси сооружения и нормальные усилия от моментов. Напряжения в вертикальных элементах на высоте $h-x$ от действия собственного веса определяются по формуле:

$$\sigma = \left(-\frac{Gx}{h} + g \right) \frac{1}{F} .$$

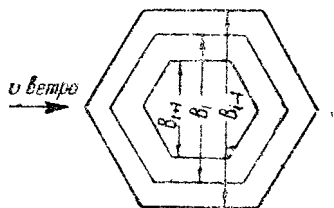


Рис. 40.

Через g здесь обозначен вес оборудования, укрепленного выше рассматриваемого сечения, а через F — площадь сечения вертикальных элементов. Наклоном вертикальных элементов несущей конструкции, в силу его малого значения, мы пренебрегаем. Величина G

может быть взята из формулы (36), или по графику на рис. 34.

Напряжения в элементах от действия горизонтальных сил могут быть определены, как мы уже условились, по формуле:

$$\sigma_u = \frac{M_x}{W_x} .$$

Величина изгибающего момента имеет выражение:

$$M_x = Hx + \Sigma w_i x_i . \quad (53)$$

Численное значение H определяется по формуле (46).

Давление ветра p_i определяется по отдельным панелям фермы или по ярусам с одинаковым W_i .

Момент сопротивления W_i можно определить из следующих соображений. Сечение причального сооружения представляет собой или правильный многоугольник или окружность. Если материал расположен сплошь по окружности, то его полярный момент инерции может быть выражен так:

$$J_p = 2\pi\delta r^3 = Fr^2,$$

где δ — толщина слоя материала, а — r радиус средней оси кольца.

В случае, если материал расположен в виде отдельных опор, то, пренебрегая моментом инерции опор относительно собственной оси, получим полярный момент инерции в виде:

$$J_p = kfr^2 = Fr^2;$$

здесь k — число опор, f — площадь отдельной опоры, а r — радиус окружности, проходящей через центры тяжести отдельных опор.

Момент инерции относительно нейтральной оси балки на основании зависимости для окружности $J_x = J_y = \frac{J_p}{2}$ получим:

$$J = \frac{J_p}{2} = \frac{Fr^2}{2},$$

а

$$W_x = \frac{Fr_x^2}{2r_x} = \frac{Fr_x}{2} = \frac{Fd_x}{4}.$$

Таким образом:

$$\varepsilon_u = \frac{4M_x}{Fd_x}.$$

Наихудшим случаем для расчета будет расчет сжатой части, так как в этом случае нужно учесть явление продольного изгиба, а напряжения сжатия от момента сложатся с напряжениями от веса сооружения:

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{F} \left[G \frac{x}{h} + g + \frac{4M_x}{d_x} \right]. \quad (54)$$

Необходимую площадь сечения вертикальных элементов определяют в нескольких местах по высоте примерно метров через 12—15, для того чтобы иметь возможность в зависимости от имеющегося сортамента материалов переменить сечения отдельных элементов. Этот общий метод для разных частных случаев может быть несколько видоизменен.

Случай сплошного кольцевого сечения может встретиться в железобетонной башне. Обычно же вертикальные элементы устраиваются или по вершинам многогранника, в случае стержневых систем, или равномерно по всей окружности, но в виде отдельных опор. Последнее имеет место в расстановке продольного настила у башен — оболочек. В этом случае, как видно из

предыдущего, величина $F = kf$, а значит максимальное усилие в опоре будет:

$$S = \sigma_{\max} f = \frac{1}{k} \left[G \frac{x}{h} + g + \frac{4M_x}{d_x} \right]. \quad (55)$$

В случае стержневой конструкции, когда несущая конструкция представляет собой сочетание плоских ферм, необходимо точнее указать места расположения осей, относительно которых берутся изгибающие моменты.

При расчете конструкции, у которой фермы статически определены, или, если раскосы и взяты перекрестными, но они конструктивно выполнены так, что одновременно работает только один раскос в панели, момент надо брать относительно низа панели.

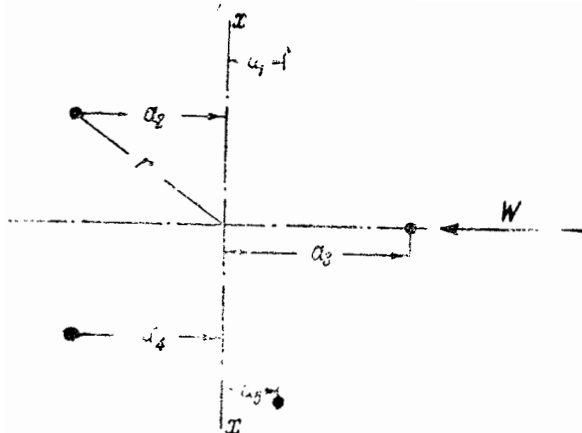


Рис. 41.

Это прямо следует из способа Риттера для плоских ферм. В случае работы обоих перекрещивающихся раскосов, величина усилий в ногах башни наиболее верно будет определена, если моменты будут взяты относительно оси, проходящей через пересечение раскосов. Следует заметить, что при пилоне (башне), составленном из плоских ферм, формула (55) справедлива в том

случае, если ветер направлен так, что расстояние между опорами в плоскости действия ветра равно диаметру; причем это будет не наилучшим случаем для некоторых форм, и он возможен только при четном числе граней.

Для того, чтобы сделать формулу (55) универсальной для многогранных пилонов, напомним ее так:

$$S_{\max} = \frac{1}{k} \left[G \frac{x}{h} + g \right] + S_{ik}. \quad (56)$$

Возьмем сечение пилона с любым числом граней k .

В каждом ребре возникает усилие S_i . Моменты этих усилий $M_i = S_i a_i$ (рис. 41), относительно нейтральной оси, должны уравновесить момент внешних сил, т. е.:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i + \dots + M_k = M_x; \quad (a)$$

$$S_1 a_1 + S_2 a_2 + \dots + S_i a_i + \dots + S_k a_k = M_x. \quad (b)$$

Если мы разделим обе части равенства $M_i = S_i a_i$ на a_i^2 , то получим:

$$\frac{M_i}{a_i^2} = \frac{S_i}{a_i}. \quad (c)$$

Вспомнив, что сила, действующая в отдельной опоре, пропорциональна напряжениям, а последние представляют собой линейную функцию удаления опоры от нейтральной оси, сможем записать, что:

$$\frac{S_1}{a_1} = \frac{S_2}{a_2} = \frac{S_i}{a_i} = C \text{ (какой-то постоянной величине),}$$

а значит и

$$\frac{M_i}{a_i^2} = C,$$

или

$$M_i = C a_i^2;$$

зная же, что

$$\sum_{i=1}^k M_i = M_x,$$

или

$$\sum_{i=1}^k C a_i^2 = M_x,$$

получим:

$$C = \frac{M_x}{\sum_{i=1}^k a_i^2}. \quad (d)$$

Определив таким образом C , сможем определить силу, возникающую в любой опоре от действия M_x :

$$S_i = C a_i.$$

Окончательно формула (56) напишется так:

$$S_{\max} = \frac{1}{k} \left[G \frac{x}{h} + g \right] + C a_{i \max}, \quad (57)$$

где C определяется из формулы (d), а $a_{i \max}$ — расстояние от нейтральной оси до оси наиболее удаленной опоры.

Определенные этим методом усилия не учитывают наклонность осей работающих элементов по отношению к действующим силам, но расхождения в определении наибольших усилий, даже для статически неопределимых решеток, не превышают 5%.

При кольцевом сечении железобетонной причальной башни стенки делаются толщиной не менее 15 см. Брать более тонкие стенки невыгодно в производственном отношении, — очень трудно организовать подъем ползучей опалубки.

Для того, чтобы использовать полностью несущую способность такой стенки, можно уменьшить диаметр кольца. Выбранная толщина кольца не позволяет брать момент инерции по приближенной формуле. Точно момент инерции кольца будет:

$$J = \frac{\pi}{64} (d_1^4 - d_2^4),$$

где: d_1 — наружный диаметр,
 d_2 — внутренний диаметр.

Если сечение остается постоянным, то величина $G \frac{x}{h}$ может быть подсчитана более точно:

$$G \frac{x}{h} = \frac{\pi}{4} x \gamma (d_1^2 - d_2^2) = F x \gamma.$$

Напряжение в бетоне выразится в новых обозначениях так:

$$\sigma_b = \frac{1}{F} \left[F x \gamma + g \right] \pm \frac{M_x}{W_x},$$

или

$$\sigma_b = \frac{4}{\pi (d_1^2 - d_2^2)} \left[\frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2) x \gamma + g \right] \pm \frac{32}{\pi} \frac{M_x d_1}{(d_1^4 - d_2^4)}, \quad (58)$$

Если эксцентриситет, равный:

$$e = \frac{M_x}{F x \gamma + g},$$

будет меньше радиуса ядра сечения $\rho = \frac{d_1^2 + d_2^2}{8d_1}$, то все сечение будет только сжиматься.

В башнях Шухова приближенный способ дает иногда расхождения до 10 и больше процентов, но для целей подбора сечений все же можно воспользоваться формулой (56). Полученная сила S не будет являться расчетной, так как оси стержней идут к линии действия силы под углом.

Если обозначить угол наклона стержня к горизонту через α , то сила, действующая в стержне, определится как:

$$S_p = \frac{S_{\max}}{2 \sin \alpha}. \quad (59)$$

При приближенном методе, последняя составляющая внешних сил, так называемая перерезывающая сила, должна быть передана на оставшиеся элементы конструкции, т. е. на косые настилы в случае оболочки, и на стержни решетки — в случае сквозной конструкции. Это тем менее соответствует истинной картине, чем больше угол наклона граней сооружения.

Предполагая, что промежуточные элементы работают на силы сдвига, можем записать, что сила, сдвигающая их относительно продольных стоек на длине участка h_o , будет равна:

$$T_{h_o} = \frac{QS}{bI} h_o b,$$

или принимая $J = 2F \left(\frac{l}{2} \right)^2$, а $S = F \frac{l}{2}$, получим:

$$T_{h_o} = \frac{Q}{l} h_o. \quad (60)$$

Усилия в наклонных элементах могут быть получены из рассмотрения треугольника равновесия (рис. 42). Оно равно:

$$S' = \frac{T}{2 \sin \alpha} = \frac{Q_p h_o}{2l \sin \alpha}. \quad (61)$$

В случае односторонней конструкции фермы треугольник принимает несколько другой вид (рис. 43) и в этом случае:

$$S = \frac{T}{\sin \alpha} = \frac{Q_p h_o}{l_i \sin \alpha}. \quad (62)$$

Для того, чтобы учесть наклон поясов, хотя бы и приближенно, мы на основании рассмотрения этого рисунка заключаем, что $S_p = S - S_a$.

Решив задачу, из косоугольных треугольников найдем:

$$S_p = Q_i \frac{h_i}{l_i} \frac{\frac{1}{\sin \alpha} - \cos \beta + \frac{\sin \gamma \cos (\beta + \gamma)}{\operatorname{tg} \alpha}}{1 - \cos (\beta + \gamma)^2}. \quad (63)$$

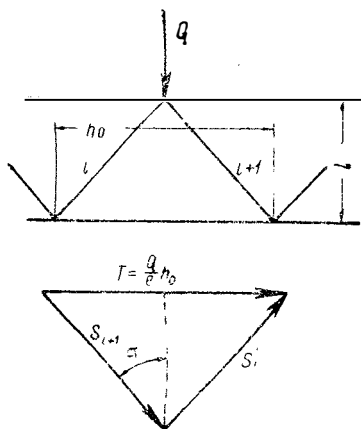


Рис. 42.

В случае четырехугольного решения в плане конструкции сооружения, усилия в раскосах проще всего определять или способом Риттера, или диаграммой Кренона, так как распределение сил по обеим граням одинаково.

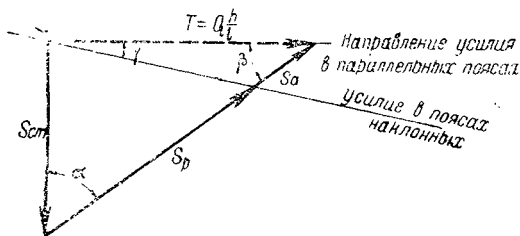


Рис. 43.

Полученная по формуле (63) величина S_p может давать ошибку в значении усилия сжатого раскоса до 15%. В приведенных формулах величина Q_p зависит как от размеров грани, так и от числа одинаково работающих граней.

Величину Q_p определим из следующих соображений. Рассматривая башню как консоль, заключаем, что наибольшим силовым воздействиям подвергаются раскосы, лежащие в двух гранях, пересекающих диаметр перпендикулярно к направлению ветра, т. е. нейтральную ось.

Допустив, что перерезывающая сила распределяется по длине сечения равномерно, получим:

$$Q_p = \frac{Qb}{2B}, \quad (64)$$

где B — размер проекции всего сооружения на направление ветра, а b — проекции рассчитываемой грани на то же направление (рис. 40), причем размеры b и B берутся внизу панели, а Q та, которая действует на данную панель.

В статически неопределимых фермах (перекрестные раскосы)

усилие в сжатом раскосе равно 60—56% от усилия полученного по формуле (62), а в растянутом будет еще меньше.

Для определения усилия в поясах башни можно рекомендовать способ разложения силы, приложенной в узле на два направления (рис. 44). Если взять грань, перпендикулярную направлению ветра и соседнюю с ней, то сила, действующая в поясе, будет:

$$S_n = \frac{W}{2 \sin \frac{180}{n}}; \quad (65)$$

здесь W — равнодействующая давления ветра на узел, подсчитанная для среднего угла наклона грани и потому направленная по радиусу описанной окружности, а n — число опорных ног или граней.

Величина S_n очень приближенная, но для ориентировочных подсчетов вполне приемлемая.

Приведенные выше приближенные формулы позволяют очень быстро подсчитать расход материала, для сравнения вариантов, и кроме того правильно подобрать сечения элементов для расчета статически неопределимых систем. Точность же их, за исключением

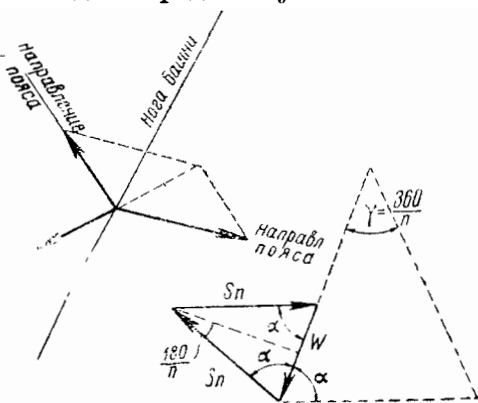


Рис. 44.

формулы (65), вполне достаточна по сравнению с теми способами, которые применялись для расчета до настоящего времени.

Методы окончательного расчета

Многогранные пилоны. При окончательном расчете причального сооружения конечно нельзя удовлетворяться изложенными выше способами расчета. В целях большей экономии строительного материала, а следовательно расходов на транспорт, рабочую силу и прочее, выгоднее затратить дополнительное время на более точный метод расчета сооружения.

При расчете стержневых систем причальных сооружений наиболее распространенным является способ разложения на плоские системы.

Сущность этого метода сводится к тому, что внешние силы, приложенные к узлам сооружения, действующие в любых направлениях, разлагаются на направления плоскостей пересекающихся ферм. Затем в каждой из пересекающихся ферм определяются усилия самостоятельно от действующих на них составляющих. Учитывая, что некоторые элементы соприкасающихся плоскостей являются общими для обеих ферм (опоры башни), усилия в них складываются с учетом знаков.

При использовании этого метода расчета встают три вопроса:

1) какие внешние силы прилагать к узлам многогранного сооружения?

2) как учитывать влияние диафрагм?

3) как быть, когда каждая из плоских ферм статически неопределима?

Различные решения указанных трех вопросов вносят изменения и неопределенность в окончательные решения, а поэтому-то таким большим распространением и пользуются приближенные методы решения.

Сложность первого вопроса заключается в том, что как мы видели, нагрузка от ветра не постоянна по сечению сооружения, а к тому же неопределенно давление на клетку лифта, передаваемое посредством диафрагм или связей. Влияние ветра складывается из давления на передние грани и отсасывания, наблюдаемого на задних гранях по отношению к линии действия ветра, причем величина отсасывания — 0,4—0,5 от прямого давления. Неопределенность передачи ветрового давления с тела клетки лифта, площадь сопротивления ветру у которого достигает 30—50% площади сопротивления всего причального сооружения, удобнее всего разрешается путем передачи всей силы действия ветра на передние грани по стержням растянутых связей.

В силу всего сказанного, правильнее будет распределять общую силу действия ветра, принимая ее равномерно распределенной по площади вертикальной проекции сооружения следующим образом: на узлы передних граней $2/3 P$ и на узлы задних граней $1/3 P$. Направление сил надо брать и на передние и на задние грани параллельными скорости ветра.

Указанное распределение близко соответствует действительному в четырехугольных сооружениях. В сооружениях с большим числом граней, в особенности если они обшиты, эпюра распределения давления ветра будет напоминать эпюру давления на цилиндр, и в этом случае правильнее будет направлять действие ветра по радиусам, а величину усилия находить путем суммирования фактического давления по рис. 36.

Диафрагмы, как показывают опыты, влияют на перераспределение усилий в стержнях ферм. Это влияние, в силу его неопределенности, при расчете не учитывают. Усилия в стержнях диафрагм и их влияние на устойчивость должно быть проверено расчетом.

В случае, если плоские фермы статически неопределимы, производят предварительный подбор сечений стержней одним из указанных выше методов, а затем, пользуясь методами статики сооружений (по преимуществу способом Максвелла-Мора или методом возможных перемещений), определяют окончательные усилия в стержнях.

Случай статически неопределимой решетки встречается в четырехгранных сооружениях при шпренгельной решетке, а в многогранных сооружениях при перекрестной решетке.

В последнем случае система получается столько раз статически неопределимой, сколько в ферме панелей.

Для точного решения вопроса приходится решать большое число уравнений, что отнимает очень много времени. На практике для упрощения работы очень часто пользуются следующим методом: разбивают ферму на две статически определимые фермы (например одну с восходящими, другую с нисходящими раскосами) и, определив в них усилия от половинных нагрузок, соединяют вместе, путем суммирования усилий в элементах, имеющих в обеих фермах.

Стержневая система Шухова. Метод расчета, изложенный на стр. 64, дает относительно верные результаты при больших вертикальных нагрузках, в работе же причального сооружения имеют преимущество силы, действующие горизонтально.

Практически в башнях Шухова преобладают сжатые стержни, причем наибольшие усилия получаются в стержнях, расположенных не в самых удаленных точках, а лежащих несколько ближе к нейтральной оси.

Для более четкого расчета можно воспользоваться методом, предложенным акад. Динником¹.

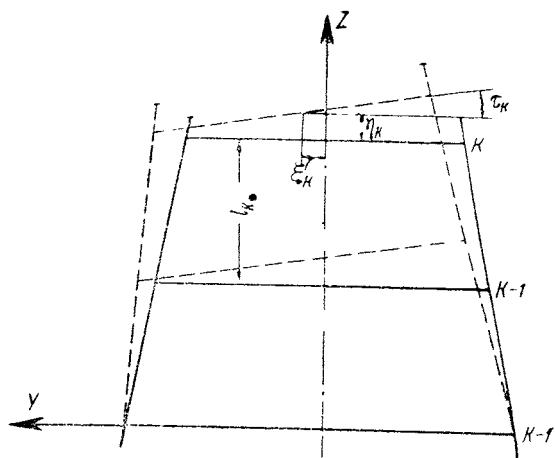


Рис. 45.

В этом методе исходят из двух, фактически осуществляемых, предположений:

1) жесткость колец настолько велика, что сечение башни остается круглым и после деформаций,

2) решетка работает только на осевые силы.

Приняв, что башня деформировалась под влиянием внешних сил согласно рис. 45 и 46, обозначив смещения центра тяжести колец через η и ξ , а угол их поворота через τ , можем записать, что длина стержня L_k между кольцами K и $K-1$ выражается уравнением:

$$L_k^2 = (x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2 + (z_k - z_{k-1})^2. \quad (a)$$

Выражая деформации через производную и обозначая дифференциал через Δ , сократив все выражение на 2 и отбросив бесконечно малую высших порядков, будем иметь:

$$L_k \Delta L_k = (x_k - x_{k-1}) (\Delta x_k - \Delta x_{k-1}) + (y_k - y_{k-1}) (\Delta y_k - \Delta y_{k-1}) + (z_k - z_{k-1}) (\Delta z_k - \Delta z_{k-1}). \quad (b)$$

¹ См. статью в журн. „Вестник инженеров и техников“ № 7, 1933 г.

В силу жесткости колец можно сказать, что координаты x_k и x_{k-1} точек a и a' останутся прежние, а значит Δx_k и Δx_{k-1} будут равны нулю.

Смещение в плоскости $Z-Y$, как это видно из чертежа, в горизонтальном направлении будет:

$$\Delta y_k = \xi \quad \text{и} \quad \Delta y_{k-1} = \xi_{k-1},$$

а в вертикальном, принимая, ввиду малости, углы $\text{tg } \tau_k$ за τ_k :

$$\Delta z_k = r_k + y_k \tau_k,$$

$$\Delta z_{k-1} = r_{k-1} + y_{k-1} \tau_{k-1}.$$

Из рис. 46 при радиусе кольца r следует, что:

$$y_k = r_k \cos \gamma_a,$$

$$y_{k-1} = r_{k-1} \cos \gamma_{a'} = r_{k-1} \cos (\gamma_a + \alpha),$$

и в то же время:

$$z_k - z_{k-1} = l_k.$$

Подставив только что полученные значения координат в основное уравнение (b), получим:

$$L_k \Delta L_k = [r_k \cos \gamma_a - r_{k-1} \cos (\gamma_a + \alpha)] (\xi_k - \xi_{k-1}) + l_k [\eta_k + r_k \cos \gamma_a \tau_k - \eta_{k-1} - r_{k-1} \cos (\gamma_a + \alpha) \tau_{k-1}]. \quad (c)$$

В этом уравнении переменной величиной будет являться γ_a , а все остальные величины постоянные, поэтому его можно представить в виде:

$$L_k \Delta L_k = A'_k + B'_k \cos \gamma_a + C'_k \sin \gamma_a. \quad (d)$$

Зная же, что в пределах упругих деформаций усилие в стержне

$$S_k = \frac{EF}{L_k} \Delta L_k,$$

и подставив это выражение в уравнение, получим уравнение того же вида:

$$S = A_k + B_k \cos \gamma_a + C_k \sin \gamma_a. \quad (e)$$

где A_k , B_k и C_k пока неизвестные постоянные, например:

$$A = \frac{EF}{L^2_k} l_k (\eta_k + \eta_{k-1}).$$

Для их определения рассечем башню между кольцами K и $K-1$, отбросим верхнюю часть, изображенную на рис. 47 жирной линией, и напишем уравнение равновесия.

Проекция всех сил на ось Z в случае равновесия имеет вид:

$$\sum_2^{2n} \left(-S_k \frac{l_k}{L_k} \right) + \sum_1^{2n-1} \left(-S'_k \frac{l_k}{L_k} \right) - P_z = 0. \quad (f)$$

В этом уравнении первый член представляет собой сумму проекций усилий в стержнях одного направления, помеченных четными номерами, а второй член — то же самое только для стержней обратного направления, при числе стержней, равном $2n$. Косинус угла φ_z здесь заменен отношением размеров $\frac{l_k}{L_k}$:

$$\cos \varphi_z = \frac{l_k}{L_k}.$$

Проектируя все силы на ось Y , получим:

$$\sum_2^{2n} S_k \frac{r_{k-1} \cos(\gamma_a + \alpha) - r_k \cos \gamma_a}{L_k} + \sum_1^{2n-1} S'_k \frac{r_{k-1} \cos(\gamma_b - \alpha) - r_k \cos \gamma_b}{L_k} - Q_k = 0. \quad (g)$$

В этом уравнении:

$$\frac{r_{k-1} \cos(\gamma_a + \alpha) - r_k \cos \gamma_a}{L_k} = \cos \varphi_y$$

(у четных номеров стержней),

Q_k — перерезывающая сила в данном сечении AB .

Третье уравнение равновесия получим взяв момент относительно горизонтальной оси (ось X -ов), лежащей в плоскости кольца:

$$\sum_2^{2n} S_k \frac{l_k}{L_k} r \cos \gamma_a + \sum_1^{2n-1} S'_k \frac{l_k}{L_k} \cos \gamma_b - M_k = 0. \quad (h)$$

Через M_k обозначен момент внешних сил, действующих на отсеченную часть.

Подставив в полученные уравнения значения S_k и S'_k и производя все вычисления, мы придем к определению коэффициентов:

$$A_k = -P_k \frac{L_k}{l_k \cdot 2n}, \quad (k)$$

$$B_k = M_k \frac{L_k}{l_k \cdot n \cdot r_k}, \quad (i)$$

$$C = \frac{[r_{k-1} \cos \alpha - r_k]}{r_k \cdot r_{k-1} l_k \cdot n \sin \alpha} M_k L_k - Q \frac{L_k}{r_k \cdot n \cdot \sin \alpha}. \quad (m)$$

Рассмотрев формулы и сравнив их с приближенными, можно

сказать, что эти коэффициенты суть усилия в стержнях от влияния P , M и Q .

Таким образом усилие в стержне четного направления будет:

$$S_k = -P_k \frac{L_k}{2l_k \cdot n} + M_k \frac{L_k}{l_k r_k \cdot n} \cos \gamma_a + \\ + \left\{ M_k L_k \frac{[r_{k-1} \cos \alpha - r_k]}{r_k r_{k-1} l_k \cdot n \cdot \sin \alpha} - Q \frac{L_k}{r_k \cdot n \sin \alpha} \right\} \sin \gamma_a, \quad (66)$$

а в нечетном стержне:

$$S'_k = -P_k \frac{L_k}{2l_k \cdot n} + M_k \frac{L_k}{l_k r_k \cdot n} \cos \gamma_b - \left\{ M_k \frac{[r_{k-1} \cos \alpha - r_k]}{r_k \cdot r_{k-1} l_k \cdot n \sin \alpha} - \right. \\ \left. - Q \frac{L_k}{r_k \cdot n \sin \alpha} \right\} \sin \gamma_b. \quad (67)$$

В случае, если кольца расположены в точках пересечения стержней, то $\alpha = \frac{\pi}{n}$.

Опыт работы башен Шухова в других областях их применения (водонапорные башни) показывает их недостаточную устойчивость, поэтому необходимо сделать проверку всего сооружения на устойчивость против продольного изгиба.

Для определения критической силы в первом приближении¹ можно воспользоваться формулой, дающей значение критической силы для части башни, расположенной между двумя смежными пересечениями (по вертикали) стержней:

$$P_{\text{крит}} = 0,788 \frac{EJ_r}{\left(\frac{h}{m}\right)^2} \left\{ 1 + 0,25 \frac{J_t}{J_r} + \frac{2}{mn} \left[\frac{J_r^0}{J_r} \cdot 0,574 \sum_0^k \left(\frac{h}{m}\right)^3 \frac{\sin^2 \frac{\pi x}{k}}{rk^3} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{J_t^0}{J_r} \pi \sum_0^k \left(\frac{h}{m}\right) \frac{\sin^2 \frac{m \pi x}{k}}{k} \right] \right\}. \quad (68)$$

Обозначения здесь приняты следующие:

J_r — момент инерции стержня в радиальном направлении;

J_t — то же в направлении касательной;

J_r^0 — то же кольца в соответствующем направлении;

h — высота всего гиперboloида;

m — число возможных полуволов в продольном направлении;

n — число (стоек) наклонных стержней;

k — число колец на длине.

В случае, если сооружение подвергается не только сжимающей силе, но и изгибается моментом, устойчивость отсека может быть проверена по устойчивости максимально сжатого стержня действием как вертикальной нагрузки, так и изгибающего момента.

¹ Более подробно см. журн. „Вестник инженеров и техников“, № 7, 1933 г.

Для увеличения устойчивости рекомендуют ставить кольца в местах пересечения стержней, а для уменьшения свободной длины стержней, особенно в нижней части сооружения, — между ними еще дополнительные кольца жесткости.

Железобетонные башни сплошного сечения. Момент от ветровых нагрузок, изгибающий тело башни, бывает настолько велик, что эксцентриситет равнодействующей всегда бывает больше радиуса ядра сечения, определяемого по формуле:

$$r_{\lambda} = \frac{r_n^2 + r_g^2}{4r_n}$$

(рис. 48). Вследствие этого в части сечения башни, лежащей ниже нейтральной оси, все растягивающие напряжения придется передать на арматуру, выбросив бетон из работы.

Напряжения в любом сечении определим, исходя из основных положений. Сумма внутренних напряжений должна равняться равнодействующей внешних сил, а изгибающий момент уравновешиваться моментом внутренней пары.

На каждом элементе бетонного кольца площадью $\delta r d\varphi$ собирается сила $dP_{\sigma} = \sigma \cdot \delta r d\varphi$.

Просуммировав эти усилия на всем сжатом участке, получим всю сжимающую силу, выдерживаемую бетоном:

$$P_{\sigma} = 2 \int_0^{\pi-\alpha} \sigma \delta r d\varphi.$$

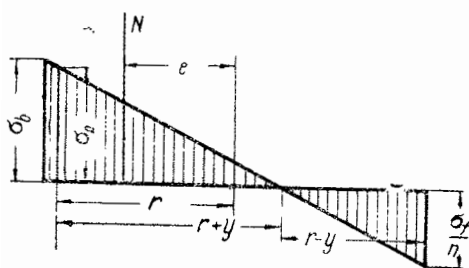


Рис. 48.

Выразив σ через максимальное осевое напряжение σ_0 и произведя интегрирование, получим:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{v+y}{y+r} = \sigma_0 \frac{\cos \varphi + \cos \alpha}{1 + \cos \alpha},$$

$$P_{\sigma} = 2 \int_0^{\pi-\alpha} \sigma_0 \delta r \frac{\cos \varphi + \cos \alpha}{1 + \cos \alpha} d\varphi = 2 \frac{\delta \cdot r}{1 + \cos \alpha} \sigma_0 [\sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha]. \quad (69)$$

Сила, выдерживаемая элементом железа на участке $r d\varphi$, выразится:

$$dP_{\text{ж}} = \frac{f}{2\pi r} r d\varphi n \sigma_0 \frac{\cos \varphi + \cos \alpha}{1 + \cos \alpha};$$

здесь через f обозначена площадь железа по всему сечению; n — отношение модулей упругости железа и бетона.

Сумма напряжений, выдерживаемых арматурой, расположенной по всему сечению, будет:

$$P_{ж} = 2 \int_0^{\pi} dP_{ж} = \frac{f \cdot n \sigma_0}{\pi (1 + \cos \alpha)} \int_0^{\pi} (\cos \varphi + \cos \alpha) d\varphi,$$

$$P_{ж} = \frac{f \cos \alpha}{1 + \cos \alpha} n \cdot \sigma_0. \quad (70)$$

Следовательно сумма внешних сил через внутренние усилия выразится следующим образом:

$$N = P_{\sigma} + P_{ж} = \frac{\sigma_0}{1 + \cos \alpha} \{ 2 \delta r [\sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha] + n f \cos \alpha \}.$$

Из этого уравнения, зная, что площадь бетона $= 2\pi r \delta$, а площадь железа при коэффициенте армирования k составляет $f = 2\pi r k \delta$, можно найти величину напряжений:

$$\sigma_0 = \frac{N}{F_{\sigma}} \frac{\pi (1 + \cos \alpha)}{[\sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha] + n \pi k \cos \alpha},$$

$$\sigma_0 = \frac{N}{F_{\sigma}} \frac{\pi (1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha + [\pi (1 + kn) - \alpha] \cos \alpha}.$$

Величина $\frac{N}{F_{\sigma}}$ есть напряжение при центральном сжатии; обозначим его через σ_{-} , а весь остальной многочлен, являющийся функцией от α , через C ; тогда формула примет вид:

$$\sigma_0 = \sigma_{-} C.$$

Из рис. 48 можно заключить, что:

$$\frac{\sigma_f}{n} = \sigma_0 \frac{r - r \cos \alpha}{r + r \cos \alpha} = \sigma_0 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2};$$

значит максимальные напряжения в железе будут:

$$\sigma_f = C \cdot n \sigma_{-} \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}, \quad (71)$$

а напряжения в крайнем волокне бетона:

$$\sigma_{\sigma} = \sigma_0 \frac{r_H + r \cos \alpha}{r + r \cos \alpha} = C \cdot \sigma_{-} \frac{\frac{r_H}{r} + \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}. \quad (72)$$

Для нахождения значения угла α , а значит и C , необходимо воспользоваться условием равновесия $M = Ne = M_{\sigma} + M_{ж}$.

Момент, создаваемый сжимающими напряжениями в бетоне относительно диаметра, может быть получен путем суммирования моментов $dP_{\sigma} \cdot v$:

$$M_{\sigma} = \int dP_{\sigma} v = 2 \frac{r^2 \delta}{1 + \cos \alpha} \sigma_0 \int_0^{\pi - \alpha} \cos \varphi (\cos \varphi + \cos \alpha) d\varphi;$$

$$M_{\sigma} = \sigma_0 \frac{r^2 \delta}{1 + \cos \alpha} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right].$$

Момент, создаваемый напряжениями в арматуре относительно той же оси, получится аналогично:

$$M_{\text{ж}} = \int dP_{\text{ж}} \cdot v = 2 \frac{f}{2\pi} \frac{n \sigma_0}{1 + \cos \alpha} r \int_0^\pi (\cos \varphi + \cos \alpha) \cos \varphi d\varphi,$$

или, проинтегрировав, получим:

$$M_{\text{ж}} = \frac{f n}{2(1 + \cos \alpha)} \sigma_0.$$

Величина эксцентриситета выразится:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{M_0 + M_{\text{ж}}}{P_0 + P_{\text{ж}}}.$$

Подсчитав значения входящих сюда величин и заменив f через $2k\pi r^2$, получим:

$$e = 0,5 r \frac{0,5 \sin 2\alpha - \alpha + \pi(1 + kn)}{\sin \alpha + [\pi(1 + kn) \cos \alpha - \alpha]}. \quad (73)$$

Из этого уравнения, задаваясь процентом армирования, нетрудно определить значение угла α .

Работа с полученной формулой все же достаточно утомительна. Этого можно избежать, если воспользоваться следующим графиком.

График (рис. 49) построен так, что если определить заранее отношение $\frac{e}{r} = \frac{M}{N \cdot r}$ и выбрать процент армирования, то значения C и $n \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}$, обозначенные через D , получаются автоматически без каких-либо вычислений.

При работе сооружения оно деформируется не только в направлении оси башни, но и в направлении ей перпендикулярном, т. е. в горизонтальном.

Для определения напряжений, возникающих в этом случае в теле сооружения, рассмотрим равновесие элемента, вырезанного двумя горизонтальными сечениями (рис. 50).

Изображенное кольцо будет находиться под действием давления ветра, приводящегося к ΔQ , и касательных напряжений по верхней и нижней грани.

Величина касательных напряжений, как известно, выражается:

$$t = \frac{\Delta QS}{bJ}.$$

Сила скалывания по всей ширине сечения $b = 2\delta$ будет:

$$T = \frac{\Delta QS}{J}. \quad (74)$$

Статический момент части кольца относительно диаметра, перпендикулярного действию силы, получим следующим:

$$dS = \delta r d\alpha \cdot r \cos \alpha = \delta r^2 \cos \alpha d\alpha,$$

$$S = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \delta r^2 \cos \alpha d\alpha = \delta r^2 [\sin \alpha]_{\alpha_1}^{\alpha_2};$$

момент инерции найдется аналогично:

$$dJ^1 = \delta r d\alpha r^2 \cos^2 \alpha = \delta r^3 \cos^2 \alpha d\alpha,$$

$$J^1 = \int dJ^1 = 0,25 \delta r^3 [\sin 2\alpha + 2\alpha]_{\alpha_1}^{\alpha_2},$$

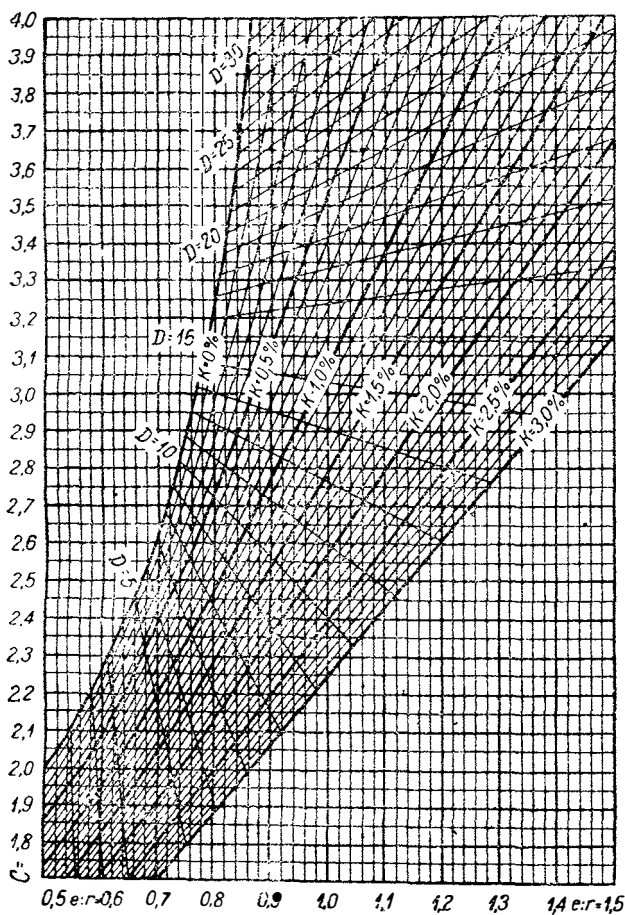


Рис. 49. График для определения арматуры.

так как в формуле (74) стоит полный момент инерции всего кольца, то $\alpha_1 = 0$, а $\alpha_2 = 2\pi$, и формула (74) получит выражение:

$$T = \frac{\Delta Q}{\pi r} 2 \sin \alpha. \quad (75)$$

Подсчитав вместо ΔQ его выражение из формулы (39) и производя вычисления, получим:

$$T = 0,85 p \sin \alpha.$$

На ширине кольца δ будет собираться сумма скалывающих усилий:

$$t = \frac{T}{2} = 0,425 p \sin \alpha. \quad (76)$$

Вырезанное кольцо удобнее всего для дальнейшего расчета разрезать сечением, параллельным направлению ветра, на две арки кругового очертания. Эти арки можно рассматривать как жестко заделанные в опоре B , так как обе половины арки смещаются вдоль сечения совершенно симметрично, а заделка опоры A такова, что там возникает опорный момент и V , но ничто не мешает ей смещаться вдоль диаметра относительно опоры B (рис. 51).

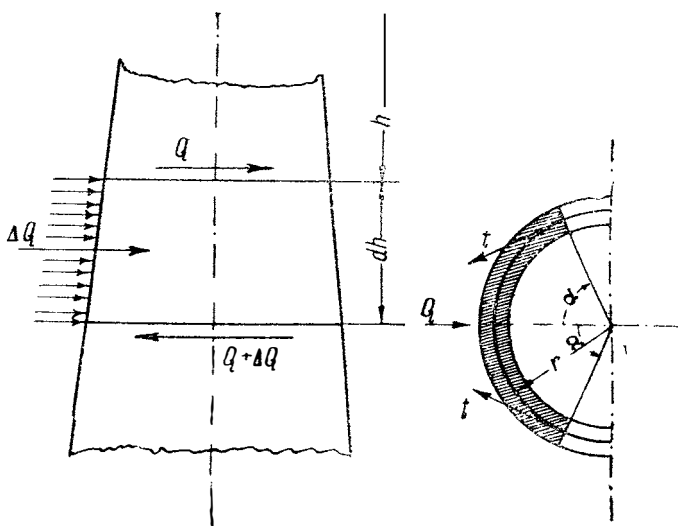


Рис. 50.

Для решения поставленной задачи воспользуемся теоремой наименьшей работы.

Каждая арка находится под действием пяти составляющих опорных реакций M_A, M_B, V_A, V_B, H_B и нагрузок от действия ветра и сил сдвига, обеспечивающих кольцу связь с остальным телом сооружения.

Нагрузка от ветра распределяется в первой четверти по закону:

$$p_\alpha = (1 - 2,5 \sin^2 \alpha) p,$$

а во второй четверти:

$$p_\alpha = -(0,3 + 1,2 \sin^5 \alpha) p.$$

Силы сдвига, как уже выяснено выше, распределены по закону:

$$t = 0,425 p \sin \alpha.$$

Потенциальная энергия системы при изгибе, с достаточной для расчета точностью, будет выражена:

$$v = \frac{1}{EJ} \int M_x^2 ds,$$

где

$$M_x = M - H \cdot y + V \cdot x + M_0. \quad (77)$$

Через M_0 мы здесь обозначаем величину момента от системы нагрузок в арке, рассматриваемой как консоль, закрепленной в опоре B , причем в силу того, что $H=0$, второй член пропадает.

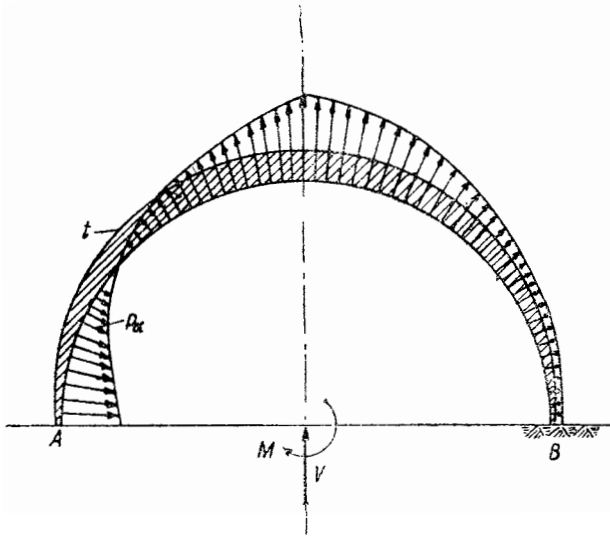


Рис. 51.

На основании теоремы о наименьшей работе можем написать следующие три уравнения:

$$\left. \begin{aligned} M \int_0^\pi ds + V \int_0^\pi x ds + \int_0^\pi M_0 ds &= 0 \\ - M \int_0^\pi y ds - V \int_0^\pi xy ds - \int_0^\pi M_0 y ds &= 0 \\ M \int_0^\pi x ds + V \int_0^\pi x^2 ds + \int_0^\pi M_0 x ds &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (78)$$

Если мы перенесем начало координат на ось симметрии, то $\int x ds$ и $\int xy ds$ обратятся в нуль.

Таким образом получим систему, изображенную на рис. 51. Приведенные для нее три уравнения (78) приобретают вид, поз-

воляющий легко определить статически неопределимые величины

$$M = - \frac{\int_0^\pi M_0 ds}{\int_0^\pi ds}, \quad (79)$$

$$I_r = \frac{\int_0^\pi M_0 x ds}{\int_0^\pi x^2 ds}. \quad (80)$$

В этих уравнениях $x = r \cos \alpha$.

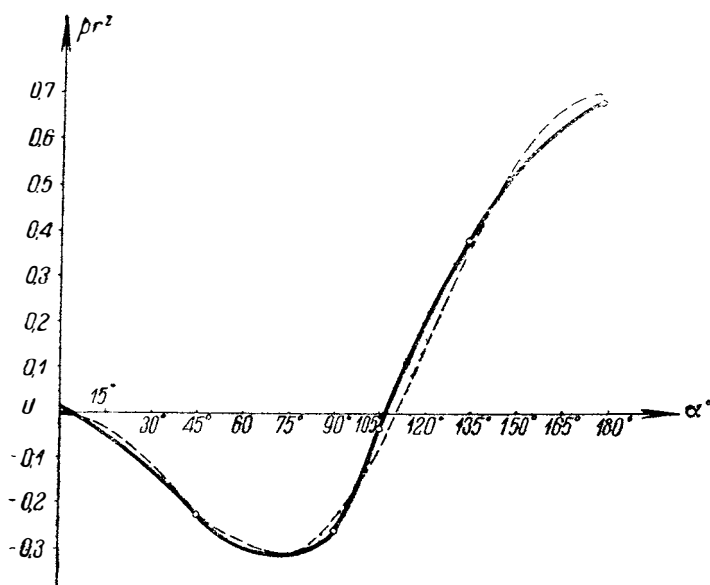


Рис. 52. Эпюра M_0 в арке.

Величина M_0 может быть получена интегрированием следующих элементарных моментов:

а) Элементарный момент от скалывающих сил:

$$dM_t = -0,425 pr^2 \sin \alpha [1 - \cos(\varphi - \alpha)] d\alpha.$$

В этом выражении φ и α изменяются от 0 и до π , причем φ — угол, образованный диаметром и сечением, относительно которого берется момент. Углы отсчитываются от опоры А, а за положительные моменты берутся моменты, вызывающие растяжение внутренних волокон кольца.

б) Элементарный момент от ветровой нагрузки в первой четверти имеет выражение:

$$dM_0^I = -(1 - 2,5 \sin^2 \alpha) pr^2 \sin(\varphi - \alpha) d\alpha = -pr^2 [\sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha - 2,5 \sin \varphi \sin^2 \alpha \cos \alpha + 2,5 \cos \varphi \sin^3 \alpha] d\alpha.$$

Интегрируя это выражение, необходимо помнить, что угол α имеет пределы от 0 до $\frac{\pi}{2}$, а φ — от 0 до π .

Во второй четверти к указанному моменту прибавляется еще действие нагрузки второй четверти.

$$dM_0^{II} = (0,3 + 1,2 \sin^5 \alpha) pr^2 d\alpha \sin(\varphi - \alpha) = pr^2 [0,3 \sin \varphi \cos \alpha - 0,3 \cos \varphi \sin \alpha + 1,2 \sin \varphi \sin^5 \alpha \cos \alpha - 1,2 \cos \varphi \sin^6 \alpha] d\alpha.$$

Здесь углы φ и α изменяются в пределах от $\frac{\pi}{2}$ до π .

Для упрощения дальнейших операций заменим получаемые сложные выражения M_0 более простыми выражениями:

на участке от 0 до 75° $M_0 = (-0,33 \sin \alpha + 0,013 \cos \alpha) pr^2$,

на участке от 75° до 90° $M_0 = (-2,06 + 1,8 \sin \alpha) pr^2$,

на участке от 90° до 180° $M_0 = -(0,9 \cos \alpha + 0,26) pr^2$.

Для суждения о величине расхождения принятых M_0 с фактическими на рис. 52, фактические M_0 изображены пунктиром.

Приняв значение M_0 по приведенным выше формулам, получим необходимые для определения M и V интегралы в следующем виде:

$$\begin{aligned} \int_0^\pi M_0 ds &= \left\{ -0,33 \int_0^{75^\circ} \sin \alpha d\alpha + 0,013 \int_0^{75^\circ} \cos \alpha d\alpha - 2,06 \int_{75^\circ}^{90^\circ} d\alpha + \right. \\ &\quad \left. + 1,8 \int_{75^\circ}^{90^\circ} \sin \alpha d\alpha - 0,9 \int_{90^\circ}^{180^\circ} \cos \alpha d\alpha - 0,26 \int_{90^\circ}^{180^\circ} d\alpha \right\} pr^3 = 187 pr^3. \\ \int_0^\pi M_0 x ds &= \left\{ -0,33 \int_0^{75^\circ} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha + 0,13 \int_0^{75^\circ} \cos^2 \alpha d\alpha - 2,06 \int_{75^\circ}^{90^\circ} \cos \alpha d\alpha + \right. \\ &\quad \left. + 1,8 \int_{75^\circ}^{90^\circ} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha - 0,9 \int_{90^\circ}^{180^\circ} \cos^2 \alpha d\alpha - 0,26 \int_{90^\circ}^{180^\circ} \cos \alpha d\alpha \right\} pr^4 = \\ &= -0,602 pr^4. \end{aligned}$$

$$\int_0^\pi ds = \pi r = 3,14 r;$$

$$\int_0^\pi x^2 ds = r^3 \int_0^\pi \cos^2 \alpha d\alpha = 1,57 r^3.$$

Подставив полученные выражения в формулы (79) и (80), получим:

$$M = -\frac{0,187}{3,14} pr^2 = -0,0596 pr^2; \quad (81)$$

$$V = \frac{0,602}{1,57} pr = 0,393 pr. \quad (82)$$

Воспользовавшись формулой (77), можем вычислить моменты, изгибающие сечение сооружения.

Их распределение и величины приведены на рис. 53 а.

Считая нормальную силу N отрицательной при сжатии и положительной при растяжении, получим для нее следующее выражение:

$$N_{\varphi} = -V \cos \varphi + N_0. \quad (83)$$

Величина N_0 — проекция всех сил, приложенных на участках полукольца, на нормаль к сечению, — определится путем суммирования от трех видов нагрузки.

От действия ветра на первую четверть:

$$\begin{aligned} N_0^I &= - \int_0^{\pi} (1 - 2,5 \sin^2 \alpha) p \sin(\varphi - \alpha) r d\alpha = \\ &= -pr \left\{ \sin \alpha \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \cos \alpha d\alpha - \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin \alpha d\alpha - \right. \\ &\quad \left. - 2,5 \sin \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin^2 \alpha \cos \alpha d\alpha + 2,5 \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin^3 \alpha d\alpha \right\}. \end{aligned}$$

Величина α изменяется в пределах от 0 до $\frac{\pi}{2}$, а величина φ от 0 до π .

От действия ветра на вторую четверть:

$$N_0^2 = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\pi} (0,3 + 1,2 \sin^5 \alpha) pr \sin(\varphi - \alpha) d\alpha.$$

Во второй четверти величина φ и величина α изменяются в пределах от $\frac{\pi}{2}$ до π .

От действия скалывающих усилий:

$$\begin{aligned} N_0^t &= 0,425 pr \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin \alpha \cos(\varphi - \alpha) d\alpha = \\ &= 0,425 pr \left\{ \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha + \sin \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin^2 \alpha d\alpha \right\}. \end{aligned}$$

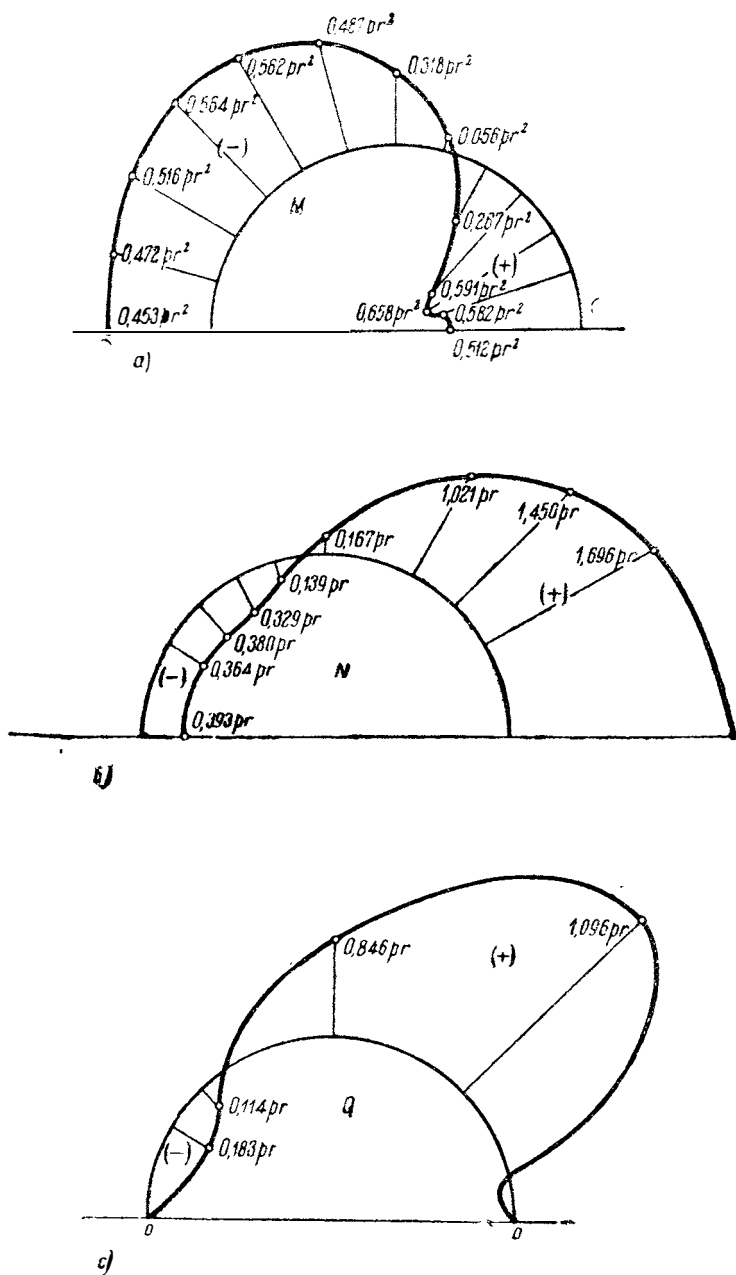


Рис. 53. Эпюры M , N и Q в полуколье.

При подсчете нормальной составляющей от касательных сил, в силу непрерывности изменения последних по длине полукольца, и величина φ и величина α изменяются от 0 до π .

Величина N приведена на рис. 53 б.

Приняв за положительное направление перерезывающей силы, при обходе по часовой стрелке, ее направление от центра наружу кольца, будем иметь выражение для Q :

$$Q = V \sin \varphi + Q_0. \quad (84)$$

Q_0 — перерезывающая сила, от приложенных к полукольцу нагрузок, определится от ветровой нагрузки в первой четверти как

$$Q_0^{PI} = -pr \left\{ \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \cos \alpha d\alpha + \sin \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin \alpha d\alpha - \right. \\ \left. - 2,5 \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \cos \alpha \sin^2 \alpha d\alpha - 2,5 \sin \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin^3 \alpha d\alpha \right.$$

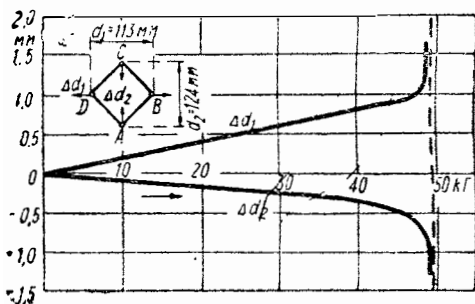


Рис. 54. Изменение длины диагоналей башни.

во второй четверти:

$$Q_0^{PII} = pr \left\{ 0,3 \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \cos \alpha d\alpha + 0,3 \sin \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin \alpha d\alpha + \right. \\ \left. + 1,2 \sin \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin^6 \alpha d\alpha + 1,2 \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin^5 \alpha \cos \alpha d\alpha \right\};$$

Q_0 — от нагрузки касательными силами:

$$Q_0^I = -0,425 pr \left\{ \sin \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha - \cos \varphi \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin^2 \alpha d\alpha \right\}.$$

Пределы изменения углов те же, что и для предыдущих случаев. Величины Q даны на рис. 53 с.

Устойчивость пилонов. Для обеспечения устойчивости причального сооружения обычно проверяют на продольный изгиб опорные ноги, сжатые от действия вертикальных и горизонтальных сил.

Длину стоек берут в пределах между горизонтальными поясами.

Устойчивость всей конструкции в целом не проверяется в силу большого момента инерции сечения всего сооружения, а следовательно и его жесткости. Надлежащая жесткость всего сооружения обеспечивается выбором формы сечения. Потеря устойчивости в стержневых системах часто связана с неверным закреплением опор, или геометрической изменчивостью системы.

Очень большие деформации наблюдаются в четырехгранных пилонах без диагональных или каких-либо других связей в плоскости, хотя бы некоторых горизонтальных поясов.

На рис. 54 приведен характер изменения длин диагоналей на модели решетчатой мачты, испытанной инж. Л. Фёппль. Модель имела высоту 1 м, диаграмма же изменений здесь приведена для самого верхнего горизонтального пояса. После того, как места пересечения раскосов решетки были связаны в плоскости горизонтального пояса стержнями (видными на рис. 55 в самом нижнем поясе), деформации в диагональном направлении перестали замечаться.

На основании этого в причальных сооружениях все же необходимо через 1—2 яруса ставить диафрагмы, которые будут служить для укрепления шахты лифта и, представляя собой геометрически неизменяемую решетку, — для увеличения жесткости всего пилона.

В стержневых системах Шухова при очень малой жесткости колец их общая устойчивость должна быть проверена. На стр. 71 приведена формула, позволяющая найти величину критической силы для всей системы.

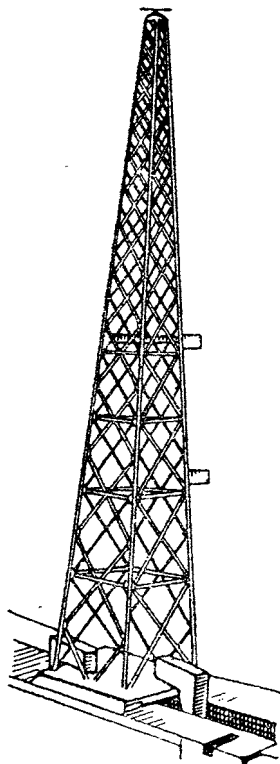


Рис. 55. Модель мачты для испытаний.

8. ДЕТАЛИ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ

Платформы

Для приема пассажиров и грузов наверху причальное сооружение снабжается платформой, опоясывающей кольцом все сооружение. Она должна быть отделена от помещения управления причальными механизмами, чтобы не мешать работе. Для уменьшения поперечных размеров несущей конструкции причального сооружения всю платформу выносят на консолях наружу.

Размер платформы определяется с таким расчетом, чтобы мостик, опущенный с корабля на платформу во время колебаний последнего в вертикальной плоскости на $8-10^\circ$, не выходил из ее пределов. Это обстоятельство одновременно накладывает ограни-

чение и на расположение платформы по высоте, — она должна находиться на максимальной высоте, допускаемой габаритами вершины (рис. 26), обеспечивающей переброску на нее десантного мостика.

Платформа снабжается перилами, высотой не менее 1,25 м, причем перила или сами должны вращаться вместе с вращением корабля вокруг сооружения при изменении направления ветра, или они должны быть снабжены устройством, облегчающим движение по ним десантного мостика. С одной или с двух сторон платформа снабжается закрывающимися люками. Через эти люки и лестницы, подходящие к ним, пассажиры попадают на площадку посадки в лифт.

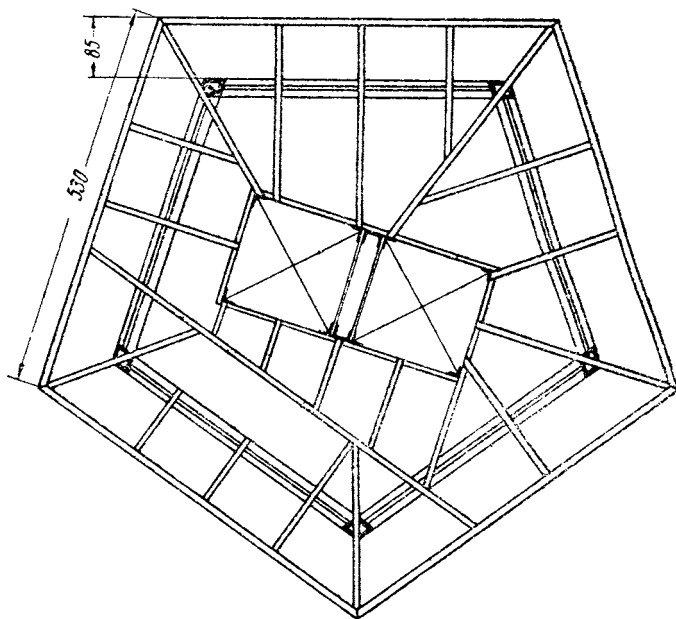


Рис. 56. Укрепление верхней платформы к телу мачты.

На уровне этой площадки некоторые причальные сооружения снабжены еще одной, вынесенной наружу, платформой. Эта платформа предназначена главным образом для световой арматуры. Устройство обеих платформ аналогично; к основной несущей конструкции присоединяются балки с консолями на концах. Консоли для увеличения прочности, при больших вылетах, укрепляются подкосами к основной конструкции.

На рис. 56 приведено укрепление платформы, проектируемое для причального сооружения в Магнитогорске. При расположении балок и лестниц необходимо наблюдать за тем, чтобы при подъеме по лестнице людей, последним не приходилось нагибаться. Это позволит обойтись без возможных задержек в передаче пассажиров на площадку для посадки в лифт.

Лестницы

Лестницы служат запасным средством передачи пассажиров вниз, поэтому они могут иметь незначительную ширину (~ 1 м), но при большом пути подъема их крутизну следует брать обычную; высоту перил надо брать не ниже 1,25 м, причем их плоскость следует обшить сеткой.

Располагают лестницы чаще всего по периметру шахты лифта, но, для уменьшения числа площадок, для устранения неудобных пересечений со сходящимися стержнями диафрагм и получения нормального уклона, можно располагать их по внутреннему периметру несущей конструкции сооружения. В этом случае нагрузка от лестниц передается непосредственно на конструкцию сооружения. Удобнее всего лестницы делать металлические, из фасонного железа, укрепляя целыми секциями и набивая на ступени деревянные накладки для устранения обledenения. Эти лестницы имеют малый вес.

В деревянных причальных сооружениях очевидно и лестницы будут деревянные.

В случае большого оборота пассажиров, если сооружение представляет собой сквозную конструкцию, лестницы нужно помещать по периметру шахты для лифта и обшивать их, с целью создания необходимых удобств при спуске.

Укрепление причального приспособления

Причалное приспособление, удерживая корабль у сооружения, позволяет последнему вращаться вокруг сооружения и, в некоторые периоды работы, само может наклоняться в любом направлении под углом 30° к вертикали. Эта возможность достигается путем устройства карданного подвеса.

Рама карданного подвеса своими осями опирается на подшипники рамы, связывающей все приспособление с конструкцией сооружения.

Конструкция части, передающей усилия от рамы кардана на сооружение, зависит главным образом от сложности аппаратуры, обслуживающей причал, от масштаба операций, обслуживаемых причальным сооружением, и от вида вершины сооружения в плане.

При небольшом людском потоке и установке простых причальных приспособлений (типа пружинных) для уменьшения размеров платформ лучше всего раму укреплять посредством опорных стержней, идущих ко всем узловым точкам верхней грани причального сооружения.

На рис. 25 стержни образуют пространственную систему, геометрически неизменяемую, но зато они неравномерно распределяют усилия, передаваемые от причального приспособления. Передачу лучше выполнять посредством рамной системы, образующей усеченную пирамиду с числом граней, равным числу граней у сооружения. Передавать давление на промежуточные системы,

которые опираются на сооружение, можно только в случае невозможности прямого соединения.

В сооружениях, где причал совершается посредством приспособления, требующего еще дополнительного оборудования, необходимо устраивать специальную кабину.

Причальное приспособление, по типу приспособления в г. Монреале, нуждается в наличии двух резервуаров для сжатого воздуха, специального вентиля и направляющих для боковой амортизации.

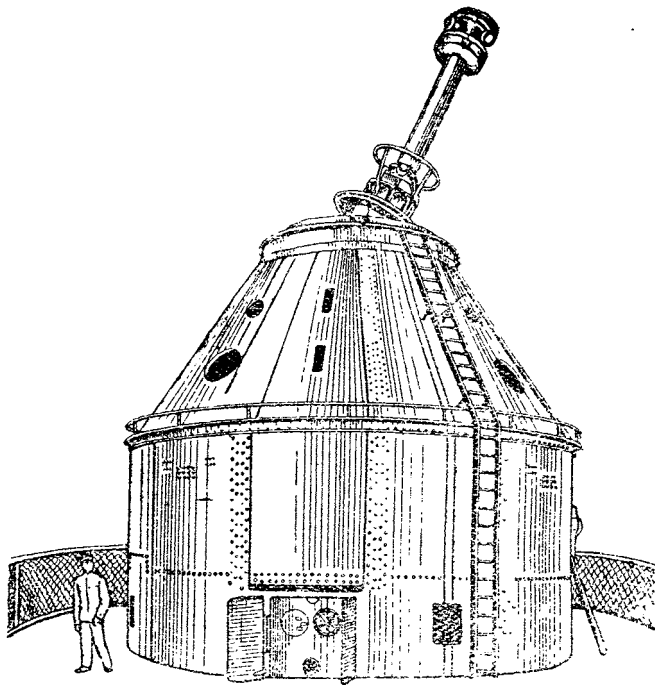


Рис. 57. Внешний вид кабины для причального приспособления.

В случаях, подобных этому, необходимая площадь заключается в кабину, образованную из железных листов, сваренных или склепанных между собой. Для того, чтобы обшивка кабины могла передавать действующие силы, она снабжается усилиями из уголков в виде стоек жесткости, а в местах перелома и примыкания — усиленными кольцами.

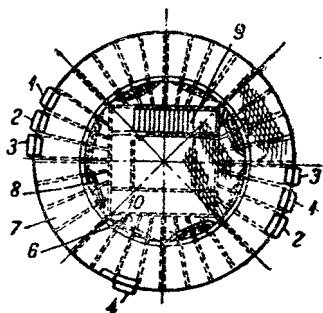
Внешний вид кабины приведен на рис. 57 (башня в Кардингтоне); такая кабина своим опорным кольцом прикрепляется или приваривается к верхнему кольцу причального сооружения и передает усилия пропорционально расстоянию от диаметра, перпендикулярного действию сил до точки прикрепления.

В наклонной части кабины вырезаются отверстия, закрывающиеся обычно задвижными щитами. Через эти отверстия может

поступать свет, но наблюдение за кораблем невозможно, поэтому при закрытых установках на самой вершине кабины делается небольшая площадка для наблюдения как за кораблем, так и за

Рис. 58. План верхней платформы в Кардингтоне.

1, 2 — кабины управления лебедками боковых тросов, 3 — кабины управления лебедкой главного троса, 4 — кабины управления причальным приспособлением, 6 — газопровод, 7 — рельс для мостика корабля, 8 — неподвижный блок для главного причального троса, 9 — лестница для спуска пассажиров на площадку посадки в лифт, 10 — водопровод.



головкой причального приспособления, управление же выносится на верхнюю галерею. На рис. 58 изображена верхняя платформа башни в Кардингтоне, на ней с двух сторон укреплено по три кабины управления лебедками причала (они изображены прямоугольниками).

Диафрагмы

Горизонтальные диафрагмы устанавливаются в геометрически неизменяемых пространственных системах для целей увеличения устойчивости на продольный изгиб, связи клетки лифта с несущей конструкцией и укрепления при их помощи вспомогательного оборудования. В геометрически изменяемых системах диафрагмы принимают участие в восприятии усилий наравне с главной конструкцией.

Для обеспечения геометрической неизменяемости всего сооружения, диафрагмы должны образовывать геометрически неизменяемые системы. Диафрагмы, обеспечивающие жесткость, поставлены в причальном сооружении в Кардингтоне. Они изображены на рис. 59.

На рис. 60 приведен пример другой диафрагмы, обеспечивающей геометрическую неизменяемость. Свое назначение диафрагмы выполняют, если их поставить через 1—2 яруса по вертикали, но для увеличения жесткости их очень часто ставят во всех ярусах, в особенности в сплошных конструкциях при

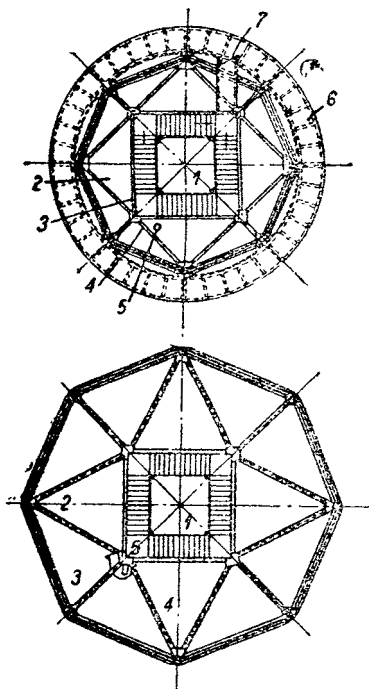


Рис. 59. План устройства диафрагм в башне в Кардингтоне.

1 — клетка лифта, 2 — главный трос для причала, 3 — водопровод, 4 — бензинопровод, 5 — газопровод, 6 — проекторная (сигнальная) платформа, 7 — проход на платформу посадки пассажиров в лифт.

тонкой стенке. Промежуточные диафрагмы устраиваются значительно слабее и рассчитываются они на сумму действующих на участок, обслуживаемый диафрагмой, сил. К этому типу диафрагм нужно причислить и кольца башен Шухова, и кольца из гнутых досок в деревянных оболочках. Расстояние между последними 1—2 м.

Когда диафрагма предназначена для сохранения геометрической неизменяемости сооружения, она должна быть рассчитана на все силы, действующие на ее узлы в горизонтальной плоскости; так как в узлах диафрагмы действуют только ветровые усилия, то значит ветровую нагрузку, распределенную по рис. 36, собирают по узлам, и потом определяют усилия в стержнях диафрагмы

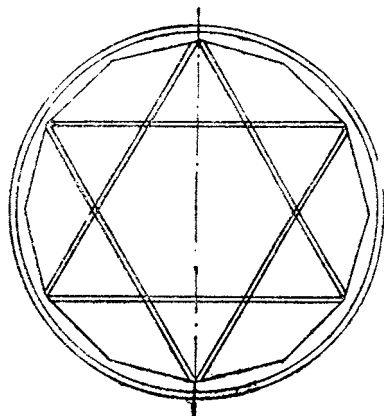


Рис. 60.

построением диаграммы Кремоны или каким-либо из методов статики.

В случае обслуживания сплошных стенок выступающими внутрь кольцами в виде ребер, на ребра можно передать M и N , определяемые по формуле (83), и собранные по высоте с участка между ребрами, причем величина момента, передаваемая на ребро, будет:

$$M_a = M + N \cdot s,$$

где s — расстояние между осью оболочки и осью ребра.

Передача M и N полностью на ребра в деревянных оболочках оправдывается тем, что оболочка не может выдерживать сколько-нибудь значительных моментов в силу малой жесткости, а в силу наклона досок не может воспринять силы N (рис. 53).

Если диафрагмы служат для сообщения дополнительной жесткости и для связи стенок шахты лифта с конструкцией, то связь элементов диафрагмы между собой и элементами шахты лифта можно рассчитать на внешние силы, собираемые с участка, приходящегося на присоединяемый элемент.

Фундаменты

Конструкция фундамента. Представляя собой консоль, причальное сооружение нуждается в хорошей заделке в грунт, а основной задачей фундамента будет являться не столько передача давления на грунт, сколько создание момента, обратного опрокидывающему.

Кроме этого задачей фундамента под причальное сооружение является предупреждение независимой осадки отдельных опор. Просадка отдельных опор, вызывая перераспределение напряжений, может привести к разрушению всего сооружения.

В связи с этими задачами фундаменты причальных сооружений должны быть массивными, чтобы противодействовать опрокидывающим моментам.

Наилучшим типом фундамента будет фундамент, состоящий из отдельных опор, соединенных между собой железобетонным поясом. Железобетонный пояс выгоднее помещать по наружному очертанию площади, занятой фундаментом, потому что этим самым увеличивается момент инерции. Схема такого фундамента приведена на рис. 61, где H — глубина заложения. В случае необходимости соединяющий пояс может иметь ширину, равную ширине подошвы.

Отдельные опоры поднимаются над уровнем земли на 1—1,5 м для уменьшения глубины котлована под фундаментами и для устранения попадания влаги в места примыкания конструкции башни к фундаментам.

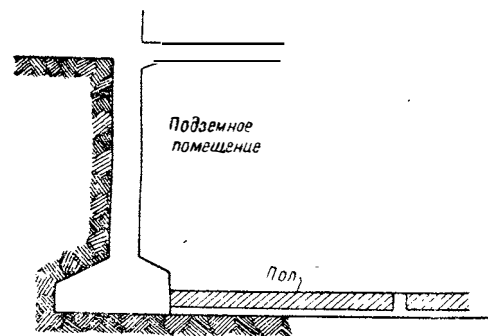


Рис. 62.

Для причальных сооружений, имеющих сплошное кольцевое сечение, такого рода фундамент превращается в сплошное кольцо.

Для уменьшения расхода на железобетон нижнюю часть фундамента можно делать бутовую, но переход к буту должен производиться там, где не возникает опасности получения растягивающих напряжений.

Заглубление фундамента приходится делать на 3—5 м, а поэтому имеется возможность в отрытом котловане между фундаментными

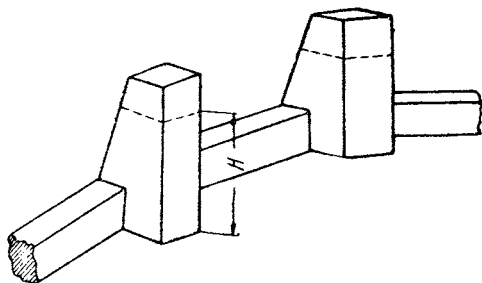


Рис. 61.

опорами, устроив соответствующий пол, разместить часть помещений, обслуживающих причальное сооружение (рис. 62). В этом случае возникает опасность деформации грунта со стороны помещения.

Для устранения деформаций нужно усиливать площадь пяты

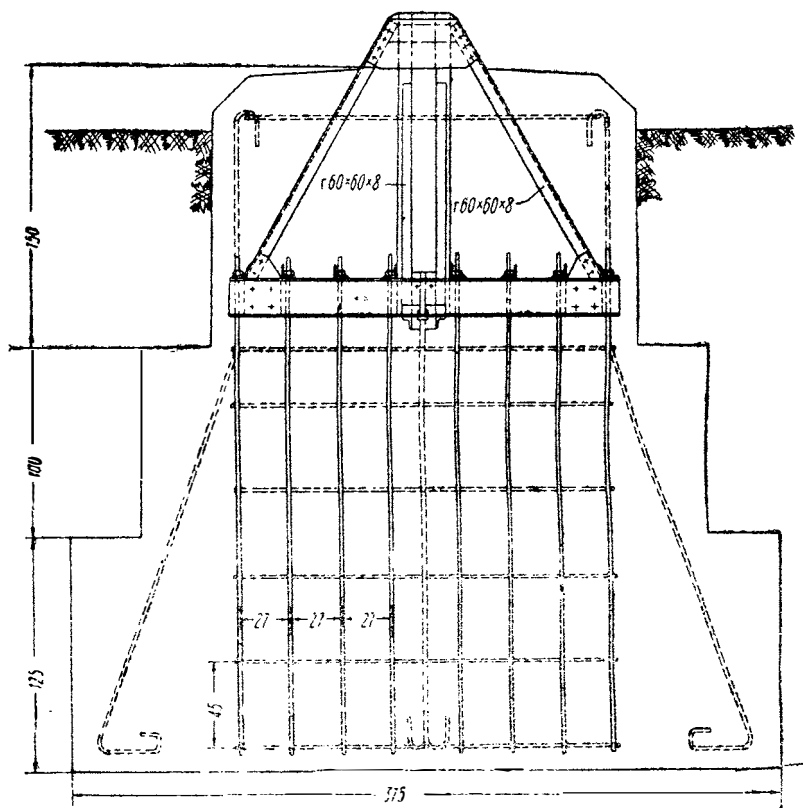


Рис. 63.

или настилать пол по железобетонной ребристой плите, работающей на давление грунта.

Очень часто употребляют фундаменты в виде отдельных опор под каждый узел основания причального сооружения, но в этом случае фундаменты приходится брать более тяжелыми, так как нельзя гарантировать одновременность их работы в случае действия опрокидывающего момента. В целях обеспечения работы всего массива фундамента от вырывания необходимо его армировать.

Примером армировки может служить фундамент, показанный на рис. 64. Этот фундамент запроектирован под одну из пяти опор причальной башни и мешает опрокидыванию последней своим весом.

При сооружении мачтового типа, фундамент под тело сооружения делается для получения необходимой площади в виде бутового столба с уширением книзу. Фундамент несколько приподнимается над поверхностью земли и в него заанкеривается опорная часть.

Более сложную форму имеют фундаменты под расчалками, удерживающие тело мачты в вертикальном положении. Эти фундаменты, как и бетонные массивы для блоков боковых тросов корабля, работают на вырывание усилием, развивающимся в прикрепленных к ним тросах.

Если же линия действия усилия в тросе не будет проходить через центр тяжести такого фундамента, то фундамент еще будет и поворачиваться, поэтому фундаментам для тросов и бетонным массивам, расположенным вокруг причального сооружения, придают форму, показанную на рис. 64.

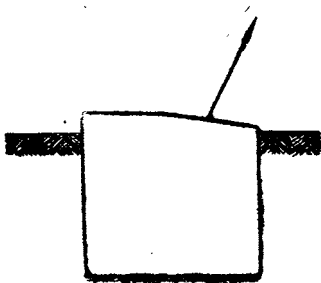


Рис. 64.

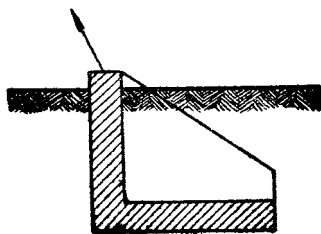


Рис. 65.

При употреблении железобетона, в целях использования веса земли и экономии материала, форма несколько изменяется (рис. 65).

Присоединение конструкции сооружения к фундаменту производится путем устройства на подошве сооружения усиленного кольца.

Кольцо, уложенное на фундамент, обычно с металлической подкладкой для распределения давления, прикрепляется к фундаменту путем пропуска анкерных болтов. При больших усилиях в отдельных опорах для увеличения числа анкеров, связывающих опору с фундаментом, прибегают к конструкции, изображенной на рис. 63. Непосредственно от шарнира опоры вглубь фундамента идет мощная конструкция, которая приклепывается к крестообразно расположенным мощным балкам. Балки, имея большую поверхность, позволяют разместить требуемое количество анкеров.

В качестве последних используют арматурное железо, загибая его на конце.

Тип армирования фундаментов для расчалок приведен на рис. 66.

В случае отдельных деревянных опор их концы усиливаются

накладками, через которые и пропускаются анкерные болты фундамента; такого рода опорная часть изображена на рис. 67.

На очень большом протяжении территории СССР, нуждающейся в обслуживании дирижаблями, залегает слой вечной мерзлоты. Устойчивость основания в нем требует специальных мероприятий.

Дополнительные мероприятия по отношению к фундаментам при большой мощности слоя вечной мерзлоты сводятся:

1) к недопущению нарушения теплового режима вечной мерзлоты в зоне заложения фундамента и

2) обеспечению целостности и неподвижности фундамента при выпучивании деятельного слоя.

Поэтому в этих районах совершенно невозможно применять для фундаментов материалы, не работающие на растяжение; также нежелательно применение железобетона, как хорошо проводящего тепло материала. При мощных сооружениях избежать применения железобетона полностью не представляется возможным, поэтому между основанием и подошвой фундамента прокладываются слои дерева.

Для сохранения режима вечной мерзлоты помещения приподнимаются над уровнем земной поверхности и снабжаются лагами, не пропускающими тепло. Подполья же должны иметь свободный доступ наружного воздуха.

Расчет фундаментов. Расчет фундаментов производится общими методами строительной механики.

Необходимо добиваться:

1) отсутствия растягивающих напряжений на подошве фундамента при любом действии сил,

2) прочности против механического разрушения от раздавливания и выпучивания грунта.

Учитывая, что напряжения в грунте вызываются совместным действием вертикальных и горизонтальных сил, их необходимо проверять по формуле:

$$\sigma = \frac{\Sigma P}{F} + \frac{M \cdot z}{I}, \quad (85)$$

где: ΣP — все вертикальные нагрузки, включая и вес фундамента;

M — изгибающий момент сил, действующих на сооружение относительно опорного кольца;

F — полная площадь опирания фундамента;

z — расстояния до краев фундамента от нейтральной оси в плоскости действия момента.

Получаемые напряжения должны быть обязательно сжимающими. Только сжимающие напряжения по подошве фундамента будут в случае, если эксцентриситет давления

$$e = \frac{M}{P}$$

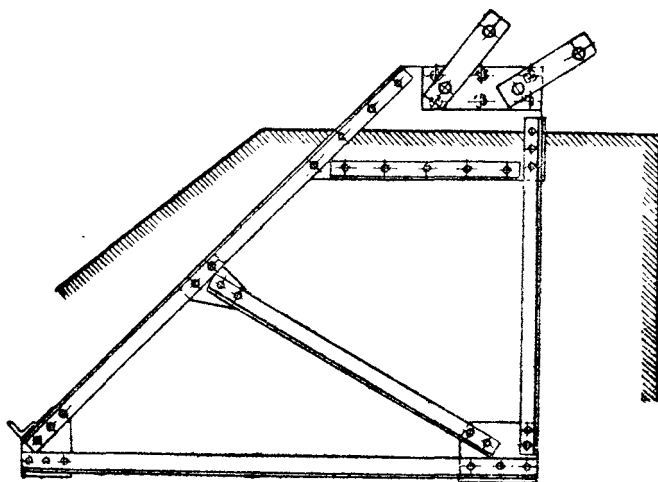


Рис. 66. Армирование фундамента для расчалок.

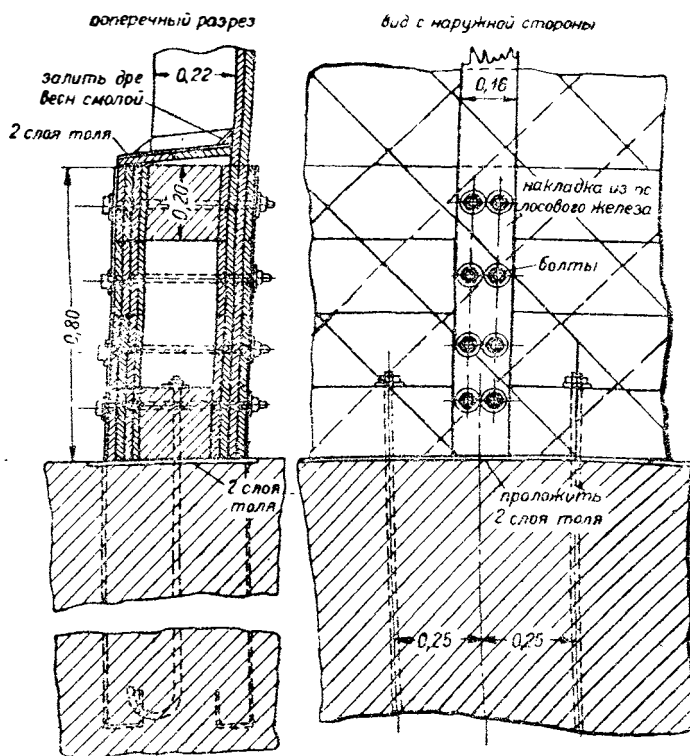


Рис. 67. Укрепление деревянных опор.

не будет больше $0,25 R$ для фундаментов круглых и $0,5$ — для кольцевых.

Максимально допустимое напряжение определяется качеством грунтов.

Для достижения только сжимающих напряжений увеличивают момент инерции путем уширения площади введением показанных на рис. 61 соединительных поясов при уменьшении площади

отдельных опор, или увеличивают вес опор, путем увеличения глубины заложения.

Приведенная выше формула для наиболее часто встречающегося многогранного основания может быть выражена (при обозначениях на рис. 68) в следующем виде:

$$\sigma = \frac{P+Q}{n(f+f_1)} + \frac{2M}{n(fr^2+f_1r_1^2)}, \quad (86)$$

причем n — число граней в сечении.

Фундамент под несущую конструкцию мачты обычно выполняется в виде четырехугольного столба, заложеного на глубину ниже промерзания грунта, и рассчитывается на одновременное действие трех факторов:

а) вес мачты с оборудованием,

б) сумма вертикальных составляющих от расчалок и

в) горизонтальная составляющая в опорной части мачты.

В значительно более сложных условиях работы находятся фундаменты под расчалки мачты или бетонные массивы для блоков.

На рис. 69 изображены силы, действующие на такой массив. Внешняя сила T — натяжение в тросе или в расчалке — и собственный вес G вызывают следующую картину обратных давлений в грунте: горизонтальная составляющая $H = T \cos \alpha$, стремясь сдвинуть фундамент, вызывает отпор грунта, распределенный по треугольнику (σ_x). Вертикальная составляющая в сумме с G вызывает равномерное давление по подошве (σ_1) и опрокидывающий момент, который в общем случае имеется, будет погашаться действием напряжений σ_2 по горизонтальной площадке, σ_m , действующими на вертикальной площадке и силами трения, действующими по площадкам в плоскости чертежа.

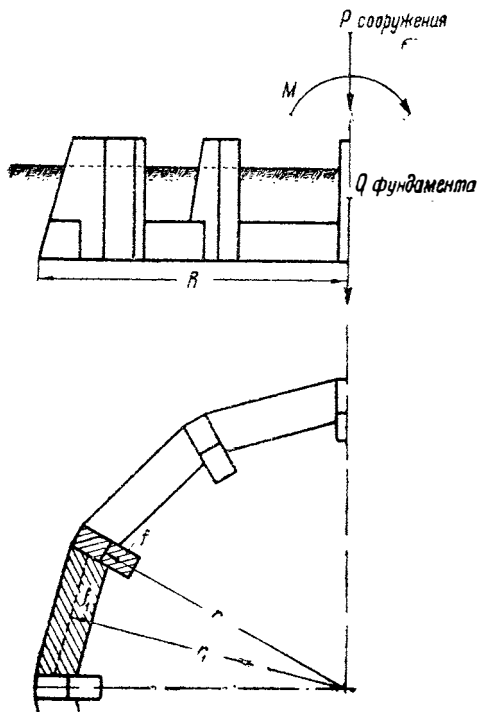


Рис. 68.

Для неподвижности фундамента необходимо соблюдение следующих пяти условий:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 + \sigma_2 &\leq [\sigma_-] \\ \sigma_x &\leq [\sigma_-] \\ \sigma_x + \sigma_m &\leq [\sigma_-] \\ M_{\text{опр}} &< M_{\text{восст}} \\ G &\geq T \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (87)$$

Здесь $[\sigma_-]$ — допускаемое напряжение на сжатие у грунта.

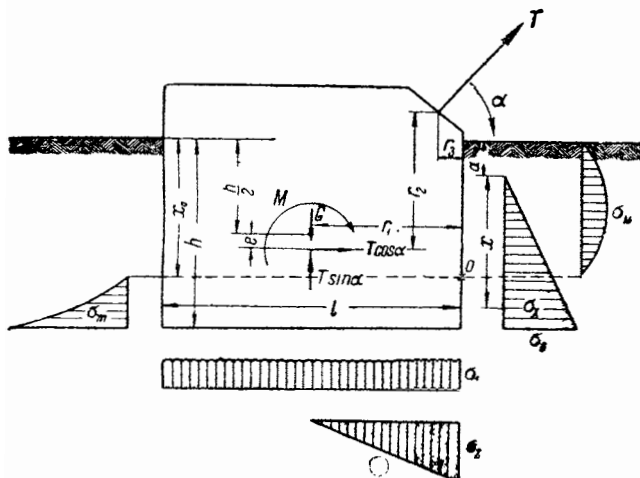


Рис. 69.

Определим действие σ_x .

Из расчета подпорных стенок известно, что:

$$\sigma_x = \gamma \cdot x \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Это получается при условии, что давит на стенку не вся призма, заключенная между стенкой, поверхностью и плоскостью скольжения, а только ее часть ABD , на рис. 70 а заштрихованная, причем γ — вес 1 м³ грунта, x — глубина, на которой мы определяем напряжения, и $\delta = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$.

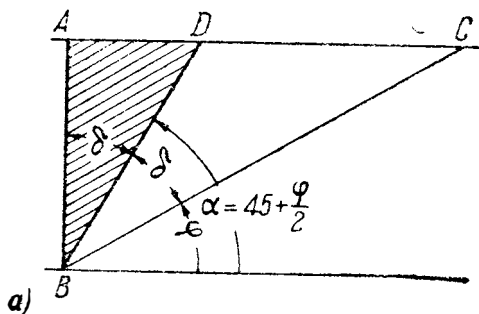
В нашем случае стенка давит на грунт, а поэтому, произведя построение Понселе, убеждаемся, что $\delta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$, и формула для напряжения приобретает вид:

$$\sigma_x = \gamma x \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = cx. \quad (88)$$

Сдвиг будет происходить по плоскости BD' на рис. 70 б.

В работе сдвига будут принимать участие следующие силы:
 H — горизонтальная составляющая натяжения троса,
 Q — вес сдвигаемого грунта и
 W — сопротивление грунта сдвигу.
 Составив два уравнения равновесия, получим:

$$\left. \begin{aligned} H - W \cos(\delta - \varphi) &= 0 \\ Q - W \sin(\delta - \varphi) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

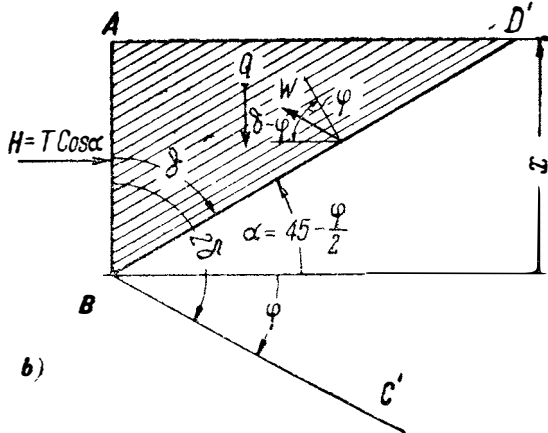


Взяв отсюда отношение:

$$\frac{H}{Q} = \operatorname{ctg}(\delta - \varphi)$$

и подставив значение Q из объема призмы, получим:

$$\begin{aligned} H &= Q \operatorname{ctg}(\delta - \varphi) = \\ &= \frac{1}{2} \gamma x_1^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (89) \end{aligned}$$



Формула (89) дает предельное значение горизонтальной составляющей внешних сил; если H будет больше указанной величины — произойдет сдвиг.

Приняв закон распределения напряжений по треугольнику, мы отсюда и получим формулу (89).

Сила H может оказываться приложенной не в середине высоты грунта; в этом случае сверху может оказаться неработающая зона (на рис. 69 участок a).

Рис. 70.

Величина a легко определяется из соотношения:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_c} = \frac{x}{h - a}.$$

Выразив отсюда $\sigma_x = \sigma_c \frac{x}{h - a}$ и величину элементарной силы $dq = \sigma_x dx$ и проинтегрировав, найдем:

$$H = \int_0^{h-a} \sigma_x dx = \frac{\sigma_c}{h - a} \int_0^{h-a} x dx = \frac{\sigma_c}{2} (h - a). \quad (90)$$

Взяв момент относительно вершины треугольника и решив полученное уравнение, найдем a .

$$H\left(\frac{h}{2} + e - a\right) = \int_0^h x_x \sigma_x dx = \frac{\sigma_c}{3} (h - a)^2;$$

$$a = \frac{6e - h}{2}. \quad (91)$$

Очевидно, что при $e \leq \frac{h}{6}$ $a = 0$.

Значит, если $e \leq \frac{h}{6}$, то фактически действующие напряжения в грунте на любой глубине от силы H будут:

$$\sigma_x = \frac{2H}{h} \cdot \frac{x}{h}, \quad (92)$$

а если $e > \frac{h}{6}$, то:

$$\sigma_x = \frac{2Hx}{(h-a)(h-a)} = \frac{8}{9} \frac{Hh}{(h-2e)^2}. \quad (93)$$

Но линия действия силы H может не совпасть с линией действия равнодействующей напряжений в грунте, как у нас на рис 69, а значит, под действием получающейся пары сил, фундамент будет поворачиваться около какой-то точки O . Это вызовет в грунте дополнительные напряжения.

Выразим величину этих напряжений на любой глубине для получения однозначного решения в виде $f(\sigma_x, x_0 - x)$.

Пусть $\sigma'_{mx} = K \sigma_x (x_0 - x)$.

Соотношение напряжений выразится следующим образом:

$$\frac{\sigma'_{mx}}{\sigma_x} = \frac{K \sigma_x (x_0 - x)}{\sigma_x} = K (x_0 - x).$$

Соппротивление грунта на поверхности одинаково, следовательно $\sigma'_{mx} = \sigma_x$ при $x = 0$. Отразив это в уравнении, получим:

$$\frac{\sigma'_{mx}}{\sigma_x} = 1 = K x_0,$$

откуда:

$$K = \frac{1}{x_0}.$$

Следовательно:

$$\sigma'_{mx} = \sigma_x \left(1 - \frac{x}{x_0} \right).$$

Иначе говоря, закон распределения напряжений получается параболический, причем с глубины x_0 начинает работать противоположная стенка, так как растягивающих напряжений в грунте быть не может.

Напряжения на передней и задней стенке должны давать только пару сил, так как они вызваны моментом, а следовательно:

$$\int_0^h \sigma'_{mx} dx = \int_0^h cx \left(1 - \frac{x}{x_0}\right) dx = ch^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{h}{3x_0} \right] = 0,$$

откуда определится x_0 :

$$x_0 = \frac{2}{3} h, \quad (94)$$

а значит:

$$\sigma'_{mx} = cx \left(1 - \frac{3x}{2h}\right). \quad (95)$$

Реактивный момент M'_p , создаваемый грунтом на передней и задней стенке, найдется как сумма элементарных моментов:

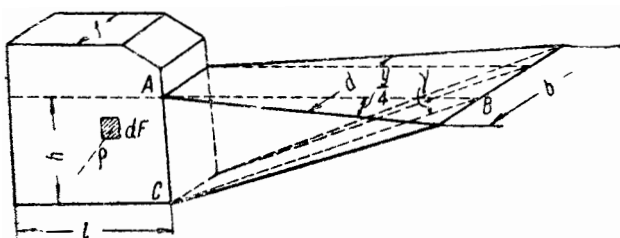


Рис. 71.

$$M'_p = \int_0^h \sigma'_{mx} x dx = \int_0^h cx^2 \left(1 - \frac{3x}{2h}\right) dx = -\frac{h^3}{24} c,$$

$$M'_p = -\frac{\gamma}{24} h^3 \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right).$$

Фундаменты под расчалки и бетонные массивы выполняются в виде отдельных столбов, следовательно грунт при их выворачивании будет иметь конфигурацию, указанную на рис. 71.

Для учета этого факта рекомендуется¹ вводить к напряжениям следующую поправку:

$$\sigma_{mx} = \sigma'_{mx} \frac{d}{f}.$$

Уклон уширения принимают в $1/4$, т. е.

$$d = f + 2 \frac{y}{4};$$

из треугольника ABC следует:

$$y = h \operatorname{ctg} \gamma,$$

¹ Грамматчиков, „Мачтостроение“.

а значит:

$$d = f + 0,5 h \operatorname{ctg} \gamma,$$

или:

$$\frac{d}{f} = 1 + 0,5 \frac{h}{f} \operatorname{ctg} \gamma.$$

Если глубина заложения фундамента неизвестна, то вместо h подставляем переменную x , и тогда указанное отношение будет выражать отношение средней ширины к ширине фундамента при любой глубине его заложения:

$$\frac{d}{f} = 1 + 0,5 \frac{\operatorname{ctg} \gamma}{f} x = 1 + \beta x.$$

В связи со всем только-что изложенным переменится и выражение величины напряжений:

$$\sigma_{m_x} = \sigma'_{m_x} \frac{d}{f} = cx \left(1 - \frac{x}{x_0} \right) (1 + \beta x), \quad (96)$$

и переместится ось поворота фундамента.

Найдем ее положение тем же методом, что и положение прежней оси.

$$\begin{aligned} \int_0^h \sigma_{m_x} dx = \int_0^h cx \left(1 - \frac{x}{x_0} \right) (1 + \beta x) dx = cx^2 \left[\frac{1}{2} + \frac{\beta}{3} x - \right. \\ \left. - \frac{x}{x_0} \left(\frac{1}{3} + \frac{\beta}{4} x \right) \right]_0^h. \end{aligned}$$

Чтобы сумма всех напряжений давала только пару сил, необходимо, чтобы $\int_0^h \sigma_{m_x} dx = 0$; это будет осуществлено, если:

$$0,5 + \frac{\beta}{3} h - \frac{h}{x_0} \left(\frac{1}{3} + \frac{\beta}{4} h \right) = 0,$$

что и дает:

$$x_0 = \frac{h}{2} \cdot \frac{4 + 3\beta h}{3 + 2\beta h}. \quad (97)$$

В случае пренебрежения уширением $\beta = 0$, вновь получим:

$$x_0 = \frac{2}{3} h. \quad (98)$$

Реактивный же момент с учетом конфигурации выворачиваемого грунта получается следующий:

$$M_p = \int_0^h \sigma_{m_x} x dx = AM'_p,$$

причем:

$$A = \frac{2(10 + 12\beta h + 3\beta^2 h^2)}{5(4 + 3\beta h)}.$$

Для того, чтобы реактивный момент, создаваемый грунтом, действительно мог противодействовать опрокидывающему, необходимо, чтобы напряжение (на задней кромке фундамента) не превосходило прочности грунта, которая у нас равна $-cx$ (см. уравнение 88).

Из уравнения:

$$\sigma_{m_x} = cx \left(1 - \frac{x}{x_0} \right) (1 + \beta x) \leq -cx$$

мы сможем определить максимальную глубину заложения:

$$x = \frac{(\beta x_0 - 1) \pm \sqrt{(\beta x_0 - 1)^2 + 8\beta x_0}}{2\beta}. \quad (99)$$

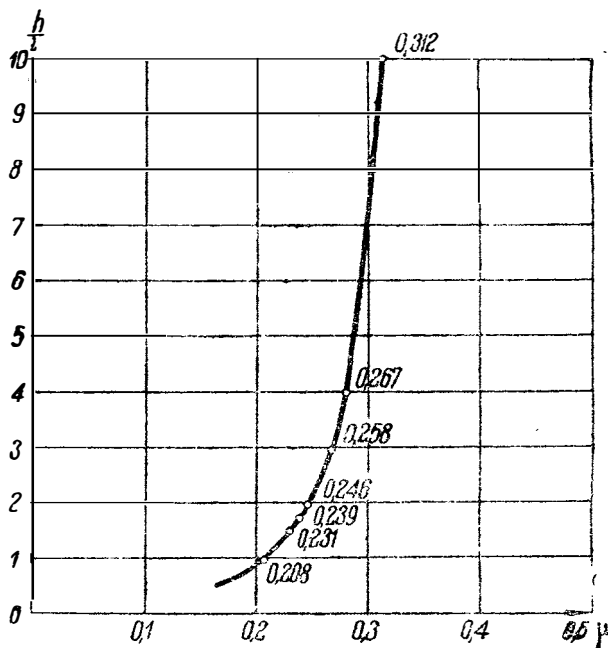


Рис. 72.

По Saint-Venant'у:

$$M = \sigma \mu h l^2.$$

В нашем случае трение происходит по двум боковым поверхностям, и следовательно:

$$M_0 = 2M = 2\mu \sigma h l^2. \quad (100)$$

В этой формуле вместо σ надо подставить трение о грунт $\sigma = (2-3) \text{ т/м}^2$, а величина μ может быть взята из графика на рис. 72.

В ленточных фундаментах совсем не учитывают трение боковых поверхностей о грунт, в отдельных же массивах, когда боковая поверхность больше даже, чем поверхность лобовых граней, представляется целесообразным учесть и трение стенок фундамента о грунт.

Если на элементарной площадке сила, сопротивляющаяся ее поворачиванию, будет $\sigma_p dF$ (рис. 71), то все сопротивление представляется в виде момента:

$$M = \int_F \sigma_p r dF.$$

Для возможного уменьшения σ_1 стараются получить вес фундамента приближающимся к величине вертикальной составляющей натяжения; если этого достигнуть не удастся, то:

$$\sigma_1 = \frac{G - T \sin \alpha}{F} = \frac{G - T \sin \alpha}{lf} \quad (101)$$

Напряжения в передней угловой точке будут состоять из σ_1 и из напряжений от момента, приходящегося на подошву (σ_2). Они в сумме должны быть меньше — σx .

$$\sigma_2 = \frac{l}{2} \cdot \frac{f}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{l}{2} = \sigma_2 \frac{l^2 f}{12} = M_{\text{пол.}} \quad (102)$$

Таким образом моменту, опрокидывающему фундамент,

$$M_{\text{оп}} = T \cos \alpha r_2 + T \sin \alpha r_3 - G r_1$$

противостоит реактивный момент:

$$M = M_p + M_{\text{бок}} + M_{\text{пол.}} \quad (103)$$

Для неподвижности фундамента эти два уравнения должны удовлетворить условию:

$$M > M_{\text{оп.}}$$

9. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО СБОРКЕ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Частью, характерной для производства работ при возведении причального сооружения, является в основном монтаж тела башни или мачты и его установка, так как установка деталей или возведение фундаментов будет производиться обычными методами производства работ на гражданских сооружениях.

В настоящее время в СССР только приступили к постройке причальных сооружений для кораблей сравнительно небольших объемов, и поэтому опыт строительства пока отсутствует; из имеющегося опыта в части возведения конструкций аналогичного типа в других отраслях народного хозяйства, можно сказать, что основными схемами монтажа являются следующие:

- 1) постепенная сборка на передвижных лесах;
- 2) секционное или поэтажное наращивание;
- 3) монтаж в горизонтальном положении с последующим подъемом;
- 4) смешанный способ, представляющий собой комбинацию первых трех.

Постепенная сборка применяется главным образом в конструкциях сплошного сечения.

В деревянных башнях-оболочках, собрав на фундаментах нижний пояс и установив стойки, связывают их горизонтальными диафрагмами и укрепляют к ним ряд платформ, с которых и производят обшивку косыми настилами и сборку остальных деталей. Стыки стоек располагают вразбежку и поэтому, постепенно

передвигая платформы все выше и выше, возводят все сооружение. На платформе обычно монтируется небольшой кран — укосуна для подъема материала вверх.

При возведении сплошных железобетонных конструкций применяют так называемую ползучую опалубку. Эта опалубка состоит из двух досчатых концентрических цилиндров, высота которых зависит от быстроты их передвижения вверх. Они связаны по периметру рядом П-образных устройств, так называемых иковок, посредством которых и обеспечивается толщина будущей стены.

К опалубке и икокам прикрепляется помост, на котором располагаются рабочие и материалы.

С икоками соединены домкраты, пропускающие сквозь себя усиленные прутья арматуры и опирающиеся на них специальными

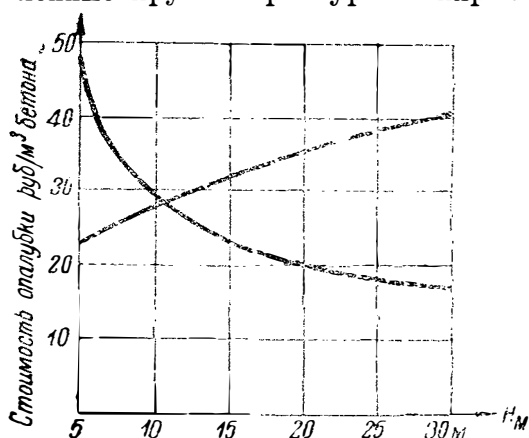


Рис. 73. Диаграмма стоимости опалубки в ж.-д. сооружениях.

Кривая, идущая вниз, показывает падение стоимости опалубки на 1 м³ уложенного бетона при ползучей опалубке, а кривая, идущая вверх, дает увеличение стоимости при опалубке стационарной.

Для ориентировки в стоимости работ приводим диаграмму стоимости опалубки на 1 м³ бетона в деле, при возведении цилиндрических силосов на одном из элеваторов (рис. 73).

Методом постепенной сборки на передвижных лесах возведена и кардингтонская причальная башня. Нижний этаж возводился с земли посредством одного деррика, затем на верхнем кольце первого яруса был устроен помост и на него при помощи первого деррика был поднят второй деррик, при помощи которого производился монтаж второго яруса. Затем второй деррик поднимал на приготовленную платформу первый деррик, и начинался монтаж третьего яруса и т. д.

Этот метод потребовал установки двух дерриков, что удорожает строительство. В Кардингтоне деррики, использовались для монтажа эллинга и поэтому не являлись накладным расходом.

Для удешевления возведения сквозных конструкций, предпочитают пользоваться другими методами.

Сквозная конструкция имеет обычно коническую форму, т. е. каждая вышележащая секция уже нижней, поэтому представляется возможным, возведя одну из секций, воспользоваться ею как лесами, собирая внутри ее следующую.

Принципиальная схема такого метода показана на рис. 74.

На верхнем поясе нижнего этажа устраиваются подъемные приспособления — обычно ряд полиспастов, а второй этаж возво-

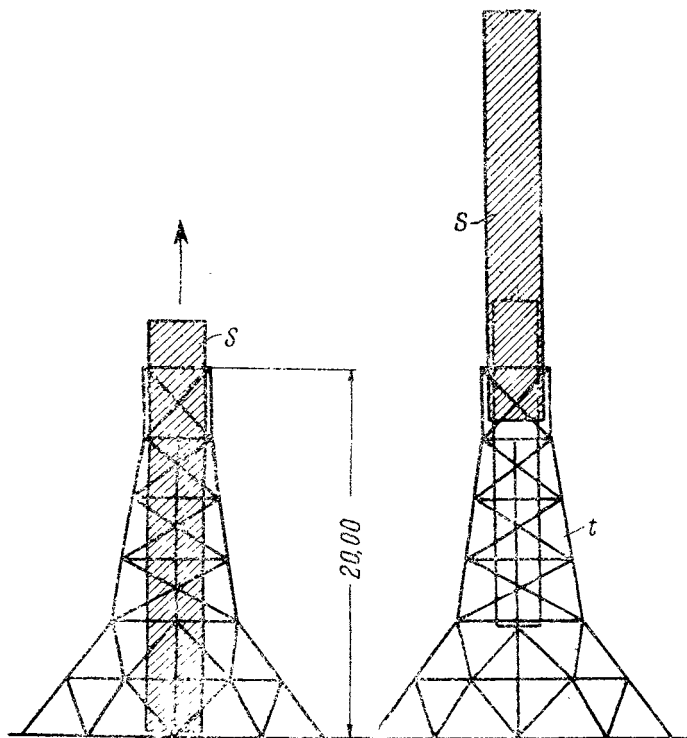


Рис. 74. Схема поэтажного возведения сооружения.

дится на хорошо собранной платформе и действием лебедок второй этаж поднимается наверх. Наверху производятся только работы по присоединению поднятой секции к уже выстроенной. Последнее производится путем соединения поясов или установкой дополнительных стержней.

Этот метод позволяет обходиться почти без лесов и не требует работ на большой высоте, что значительно сокращает время работы.

Таким методом у нас в Союзе пользовались при возведении высоких башен Шухова. После укладки и укрепления опорного кольца, монтируется при помощи легких копров вся нижняя

секция башни, причем верх ее, состоящий из двух уголков, для удобства работ устанавливается временно. Нижнее кольцо второго яруса и верхнее первого яруса имеют одинаковые размеры, а следовательно при подъеме они не позволяют соединить секции. Для устранения этого неудобства, внутренний уголок верхнего кольца временно собирают снаружи, наращивая его дополнительной вставкой, а наружный уголок нижнего кольца второго яруса ставят вовнутрь. Окончательная перестановка уголков колец и их соединение производится после подъема. Для удобства окончательных монтажных работ наверху собирается балкончик, опоясывающий кольцом все сооружение. На верхнем

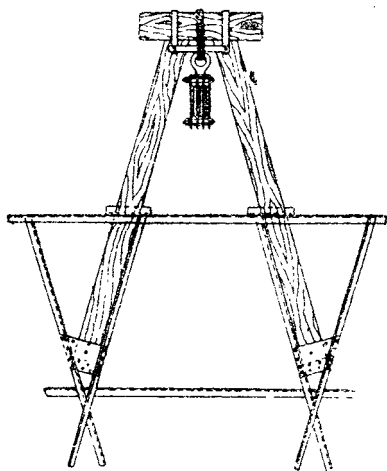


Рис. 75.

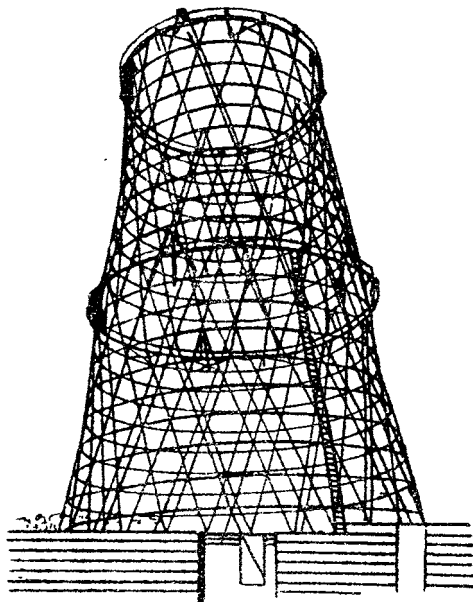


Рис. 76.

конце стержней нижнего яруса прикрепляются несколько приспособлений, поддерживающих неподвижные блоки полиспастов (рис. 75). Их концы укреплялись к стержням фасонками, а верхний конец расчленился. Вторая секция снабжалась внизу деревянными упорами, связанными с ней болтами и имеющими на конце блоки. Тросы, пропущенные через верхние и нижние блоки, шли к лебедкам, установленным снаружи.

При подъеме следует обратить особое внимание на равномерность подъема и отсутствие перекоса.

На рис. 76 приведен подъем второй секции башни. Подъем секции высотой 20 м занимает около 2—2,5 часов.

Наибольшим распространением пользуется метод сборки пилона в горизонтальном положении, с последующей его подъемкой в положение вертикальное, причем самый подъем может производиться или при помощи падающих стрел или при помощи неподвижных копров.

Монтаж производят следующим порядком. На фундаменте сооружения собирается опорная часть,— одна или две панели по высоте. Затем разъединяются все связи, кроме тех шарниров, которые будут служить опорами при последующем подъеме, и собранная часть около них поворачивается в горизонтальное положение.

Эта операция продлевается для обеспечения совпадения собранной части с приготовленными опорами в фундаменте.

Уложенная горизонтально нижняя часть наращивается последующими секциями, правильность установки которых проверяется в процессе монтажа. Собранная и проверенная конструкция при высоте 20—30 м может быть легко поднята и установлена с помощью двух стрел или копров. Стрелы ставятся с обеих сторон поднимаемого пилона. На вершине стрелы закрепляются неподвижные блоки полиспаста, а к одному из поясов сооружения, в усиленных узлах, прикрепляются подвижные блоки. Расположение узлов, за которые будут укрепляться блоки, предусматривается еще при проектировке, так как необходимо проверять прочность конструкции при подъеме. Кроме того, для устранения возможности опрокидывания сооружения при подъеме, они должны быть выбраны лежащими несколько выше центра тяжести. Высота стрелы должна быть на 2—3 м больше, чем расстояние от земли до горизонта узлов крепления блоков. Возможно более равномерным выбором тросов поднимают тело сооружения на высоту, которую допускают стрелы. При неравномерном выборе может получиться перекося шарниров, около которых поворачивается пилон, и дополнительные напряжения в стержнях. Перед подъемом, к вершине сооружения или к узлам около нее, прикрепляется ряд тросов, идущих в плоскости подъема к двум противоположно поставленным лебедкам. Тросы, идущие в плоскости, перпендикулярной к плоскости подъема, служат для устранения возможностей качания. Тросы же, идущие к лебедкам, используются для второй стадии подъема. Выбирая при помощи этих лебедок тросы подъема и тросы противоположные, доводят сооружение до постановки на опоры, причем слабина тросов, во избежание удара в последний момент, не допускается. Отдельные этапы работ изображены на рис. 77.

При сооружениях большой высоты этот метод неудобен, так как требует устройства очень высоких стрел, поэтому применяют для подъема так называемую падающую стрелу.

Схематически этот подъем изображен на рис. 78.

Падающие стрелы устанавливаются при основании сооружения и расчаливаются между собой в плоскости, перпендикулярной направлению подъема. От их вершины натягивают тросы к отдельным узлам конструкции, возможно более равномерно, и по одному тросу, проходящему через систему полиспастов, направляют к лебедкам подъема. Выбирая эти тросы, лебедки поворачивают верхние коцы падающих стрел книзу, а вместе с ними поднимают и сооружение. Для того, чтобы можно было поднять сооружение без перестановки стрелы, их ставят не вертикально, а несколько наклоняют в сторону сооружения. Для устранения

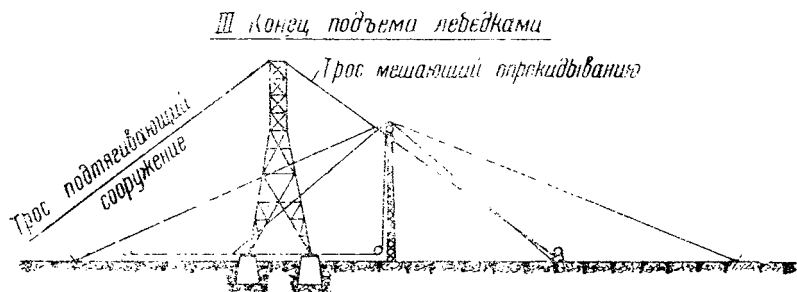
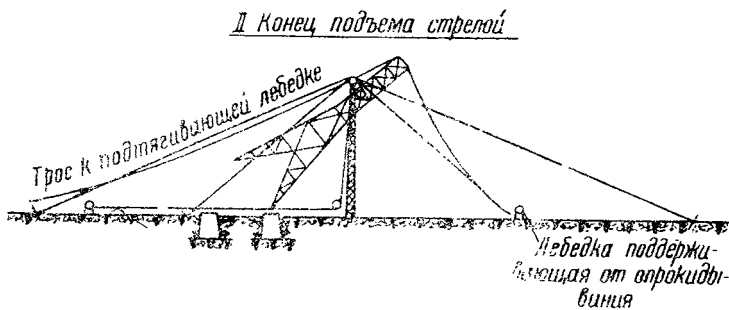
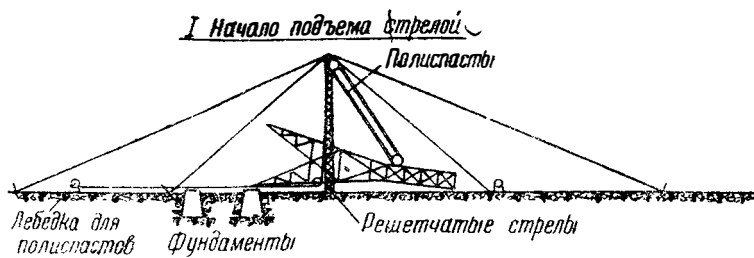


Рис. 77.

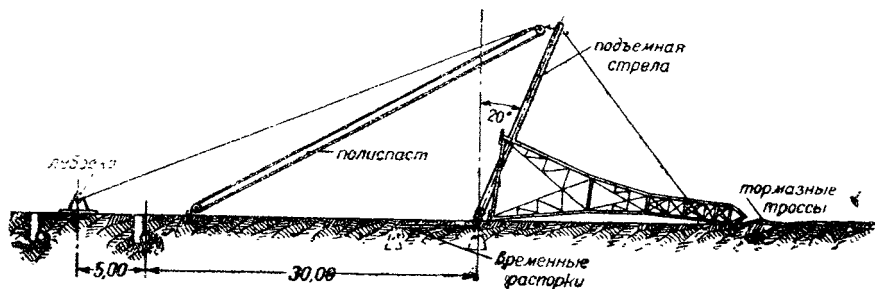


Рис. 78.

опрокидывания от вершины сооружения должен идти натянутый трос в противоположном подъему направлении. Он должен быть закреплен на лебедке, так как окончательная установка будет совершаться путем его вытравливания с барабана.

Часто практикуют установку лебедок попарно; такая установка преследует цель облегчить работу лебедки. При длинных тросах на барабане одиночной лебедки наберется большое число рядов троса, что вызывает увеличение момента. При установке парных лебедок трос на барабане первой лебедки делает только три оборота и переходит на вторую лебедку, чем сильно облегчается работа.

Для укрепления лебедок и полиспастов вырывается канава глубиной 1,5 м и в нее укладывается бревно, к которому и привязываются тросами лебедки и блоки.

Как в этом случае, так и в предыдущем, чтобы опорные ноги, около которых происходит поворот

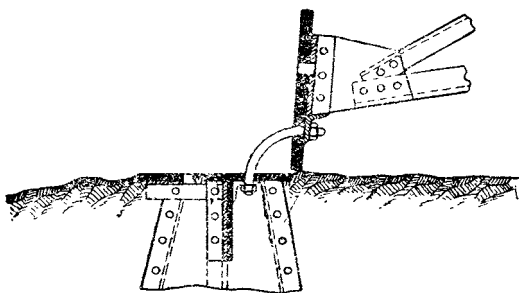


Рис. 78.

всего сооружения, точно встали на свое место, они должны быть соединены с фундаментом шарниром, позволяющим им поворачиваться в вертикальной плоскости. Практически таких шарниров у опорных ног нет, поэтому для подъема их осуществляют в виде изогнутого болта, необходимого диаметра закрепленного за подушку фундамента и опорные стержни (рис. 79).

Указанные методы хороши для конструкций металлических, причем последний применяется для подъема мачт. Для конструкций деревянных наиболее рациональным является метод сборки подвижными лесами или секционным наращиванием.

10. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Причалное сооружение в Пульхеме (Англия)

Сооружение выстроено для причала корабля R—24 и R—33, и было использовано для проведения испытаний. Сооружение построено мачтового типа. Четыре сквозных фермы, связанных вместе, образуют тело мачты, высотой 36,55 м (200 ф), которое внизу опирается на мощный фундамент, а в верхней части расчалено тросами. Внешний вид сооружения показан на рис. 80.

Вокруг мачты по кругу радиусом 150 м расположены 12 массивов для боковых тросов. На вершине мачты укреплено причальное приспособление пружинного типа (рис. 11), подвешенное на кардане.

Рассчитывалось это приспособление на воздействие корабля во время стоянки горизонтальной силой в 4 т. На верхнюю платформу сооружения люди попадают из носовой части корабля по веревочной лестнице. Мачта была использована для проведения испытаний по причаливанию кораблей и их стоянке при различных

условиях погоды. Все операции по причалу, даже в ночное время, производились командой в восемь человек.

Результаты опытов позволили, несколько позже, построить значительно более усовершенствованное сооружение для причала в Кардингтоне.

Причалное сооружение в Кардингтоне

Конструкция сооружения исполнена в виде восьмигранной башни высотой 51,8 м (рис. 81), на которой установлена цилиндрическая, с конусообразной вершиной, кабина. Внутри кабины размещены механизмы, приводящие в движение причальное приспособление. Причалное приспособление описано нами на стр. 23. Приводится оно в действие электроэнергией.

Управление работой причального приспособления производится с верхней, пассажирской платформы из кабинок 1, 2, 3 (рис. 58), причем работа производится из какой-либо одной кабинки. В каждой кабинке имеется ручка управления, поворот которой включает соответствующие моторы причального приспособления.

Для контроля состояния процесса причала в кабинке имеются специальные лампочки разных цветов, так что по их свечению всегда можно знать, правильно ли протекает операция.

Высота воронки причального сооружения от земли получается 61,46 м.

Диаметр кабины 7,62 м. Железные листы, составляющие стенки кабины, присоединяются посредством соединительного пояса к стойкам башни, вписанным в окружность радиусом 7,92 м. При осно-

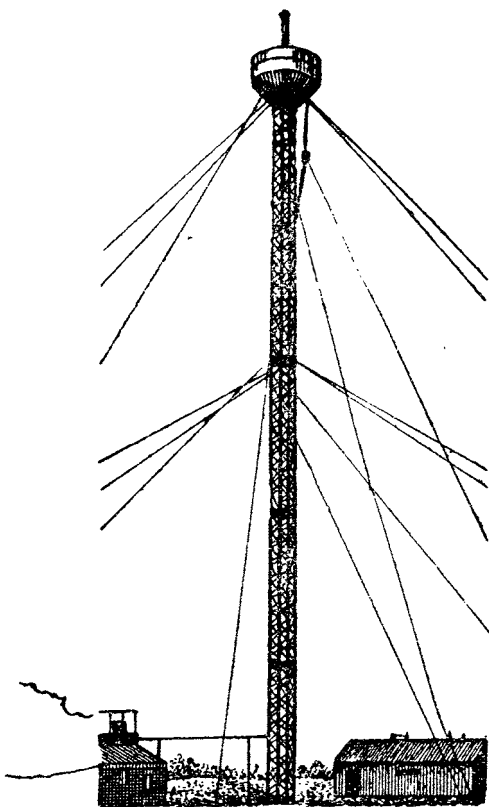


Рис. 80. Причалная мачта в Пульхеме.

вании башни окружность приобретает радиус в 21,8 м. Для получения пространственной жесткости в плоскостях узлов в каждом ярусе установлены диафрагмы.

На уровне одной из этих горизонтальных диафрагм построена прожекторная галерея 1,22 м шириной, идущая с наружной стороны башни. Пол этой галереи устлан узкими рифлеными стальными щитами, и края защищены надежными перилами. До уровня прожекторной галереи внутренность башни открыта для непогоды, но выше этого уровня башня обшита волнистым железом, в котором предусмотрены окна для освещения разгрузочной платформы.

Верхняя платформа на высоте 51,8 м, с которой пассажиры садятся на дирижабль, имеет 12,19 м в диаметре, устлана также рифленым железом и окружена тяжелыми перилами, у которых верхний поручень сделан из круглого железа. На этом поручне движется кругом башни на колесиках трап, ведущий на дирижабль.

По оси башни движется клетка для лифта площадью в 2,89 м², расположенная в центре отдельной шахты площадью 4,88 м².

Лестница, расположенная внутри этой шахты, поднимается от земли до

входа в прожекторную галлерею (рис. 81) и далее до верхней посадочной площадки. Пассажирский лифт поднимается на высоту 47,9 м. На этом уровне имеется площадка, с которой попадают на посадочную площадку посредством лестницы. Марши лестницы шириной 0,93 м имеют ступени, сделанные из рифленого железа с закругленными концами. Наружная сторона лестницы защищена металлической сеткой с ячейками 0,04 м, протянутой до высоты 1,83 м. Перила идут вдоль всего пути доверху. Пассажирский лифт работает электрической энергией и предназначается для подъема двенадцати человек, с приспособлением для сидения на шесть человек. Он приводится в движение мотором в 3 л.с., потребляющим трехфазный переменный ток частотой в 50 периодов и напряжением 400 вольт. Этот мотор дает лифту для большей части подъема скорость 45,8 м в минуту. Мотор вместе с передачей помещен в машинном отделении, примыкающем вплотную к основанию башни. Из этого помещения передача тянется к подножью клетки лифта и затем идет вертикально вверх к шкивам. Обычно равновесие устанавливается противовесом. Управление работой лифта устанавливается сверху из самой клетки. Кабина лифта, размером в плане около $2,44 \times 1,83$ м и 2,29 м высотой, обшита тиковым деревом с панелями, застекленными в верхней части матовым стеклом. Скользящая дверь кабины устроена таким образом, что она не может быть открыта, пока лифт не достигнет верхней площадки; при открытой двери лифт не работает. Между клеткой и машинным помещением установлено телефонное сообщение. Вверху кабины имеется запасный выход в виде люка, закрытого разборными деревянными щитками. Так как лифт подвержен по всей высоте действию ветра, то направляющим, опирающимся на диафрагмы, для сопротивления боковому давлению ветра, дана большая жесткость.

Восемь стоек главной башни склепаны из двух швеллеров, соединенных накладками, причем между ними внутри имеются диафрагмы.

Башня возводилась с помощью лесов из досок 8,54 м длиной посредством специального подъемника, состоящего из двух дерриков кранов с подвижными стрелами, расположенными снаружи башенных стоек, установленных на высоте 8,54 м на подмостях, вблизи стального каркаса башни. Эти два стальных крана были устроены таким образом, что каждый мог поднимать другой на высоту 8,54 м на его новое место, подготовленное для следующей стадии производимых работ. Краны работали посредством паровой машины с земли. Вес поднимаемого груза не превосходил двух тонн. Вся площадь, занятая башней, замощена бетонным полом, покрытым сверху слоем „гранолита“. Ограда в 1,83 м высотой с воротами окружает основание башни. Конструкция башни рассчитана на способность противостоять горизонтальному действию дирижабля в 30 т, приложенному на высоте 61,0 м над землей, вместе с давлением ветра, взятого в 126,5 кг/м². При расчете был взят предел допускаемого давления на подошву фундамента в 1,3 кг/см².

Для достижения этого было употреблено значительное количество бетона для фундаментов, распределяющих давление на грунт и понижающих напряжение, в соответствии с действующими силами. Каждая из восьми стоек имеет бетонное основание размером $4,11 \times 3,36$ м и 1,98 м глубиной. Каждое из этих оснований дает силу, противодействующую выдергиванию, в 60 т, но так как эти фундаменты связаны между собою, то истинная удерживающая сила увеличивается еще за счет некоторой части окружающего их бетонного пола.

Сообщение с кораблем устанавливается посредством мостика, конец которого снабжен колесиками, катающимися по балкону, дабы иметь возможность следовать за дирижаблем во всех его движениях.

Питание водородом, горючим и водой осуществляется посредством неподвижных трубопроводов, заканчивающихся на балконе и продолжающихся гибкими шлангами.

Машинное отделение представляет из себя здание размером $15,40 \times 17,49$ м. Остов его сделан из металла. Оно покрыто огнестойкой кровлей и разделяется на два отсека. В одном отделении расположены все три причаливающие лебедки; половина другого отделения использована под котельную в которой находятся два котла типа „Завсокс“; площадь нагрева каждого равняется 304 м². Работа происходит при давлении 12,7 кг/см². Другая часть второго отсека занята приводным механизмом для пассажирского лифта и насосами, подающими воду в башню, и частично отделена газонепроницаемыми перегородками, образуя помещение для бензинового насосного оборудования.

В лебедочной установлены лебедки одинаковой конструкции и мощности. Центральная лебедка приводит в действие главный трос, спускающийся от носа дирижабля вдоль оси причального приспособления и башни к блоку, прикрепленному у земли, а оттуда в машинное отделение. Все три лебедки находятся под непосредственным управлением наблюдателей, находящихся на вершине башни, а кроме того, в случае повреждения, могут управляться с земли. Согласно спецификации требовалось поставить лебедку с барабаном 1,54 м в диаметре, с нормальной скоростью выбирания троса в 15,4 м в минуту и возможной максимальной скоростью в $1\frac{1}{2}$ или 2 раза больше нормальной. Нормальная скорость вала барабана была установлена в 3 оборота в минуту, при нормальной скорости машины в 150 оборотов в минуту. Соединение вала с барабаном лебедки осуществлено посредством двух передач, изменяющих передаточное число от 50 до 1. Малая требуемая скорость машины (двигателя) в 150 оборотов в минуту определяла малую скорость поршня и следовательно сделала применение пара высокого давления невозможным.

Между кривошипным валом и первым зубчатым колесом передачи установлена фрикционная муфта, приспособленная для скольжения под нагрузкой в 16 т, — максимального усилия, которое может получиться при натяжении троса. Эта муфта необходима потому, что двигатель настолько сильно работает в некоторых положениях кривошипов, что может порвать последний при возникновении какого-нибудь заедания троса. Двигатель и лебедки смонтированы на отдельных фундаментах. Перед барабаном со стороны, противоположной расположению двигателя (рис. 8), находится вал с правой и левой нарезкой, образующий реверсивный винт каретки, укладывающей витки троса на барабан лебедки. Диаметр этого вала равен 0,15 м, ход винта — 0,165 м, соответствуя углу нарезки в 45° .

Насос для бензина — поршневой и приводится в движение при 35 оборотах в минуту специальным, герметического типа, мотором в 6 л. с., работающим при 900 оборотах в минуту.

Мотор соединен с насосом через гибкое сцепление и червячный редукционный привод, снабженный двойными передвигными шариковыми подшипниками. Кроме насосного оборудования для подачи бензина, у подножия башни установлены насосы для подачи дирижаблям балластной воды со скоростью 5 000 галлонов (227 000 л) в час. Двенадцатидюймовая (30 см) газовая магистраль ведет на вершину башни для подачи газа дирижаблю из вырабатывающей водород установки.

Причалное сооружение в Монреале

Башня представляет собою восьмиугольную металлическую постройку (рис. 30), основание которой вписано в окружность, имеющую 21 м 10 см в диаметре; диаметр башни сводится до 7 м 80 см у верхней платформы. Над этой последней возвышается башенка, в которой помещается причальный механизм, заканчивающийся шаровой головкой, гнездо которой при вертикальном ее положении находится на расстоянии 62 м 50 см над землей.

Под приемной платформой находятся площадка подъемной машины и кольцеобразная галлерея для службы прожекторов.

При расчете остова и устойчивости всего сооружения предусмотрена была нагрузка в 40 т, создаваемая дирижаблем в точке закрепления, при коэффициенте безопасности против опрокидывания, равном 1,325. Теоретическое отклонение верха башни при ветре в 146 кг/м^2 и причаленном дирижабле равно 25 мм (на башне в Кардингтоне теоретическое отклонение, не вызывающее остальных деформаций, равно 44 мм при нагрузке в 30,5 т). Максимальная же нагрузка, имевшаяся по настоящее время от $R-101$, равнялась 15 200 кг.

Фундамент здания окружен крестообразной двухэтажной постройкой, в которой помещаются лебедки, трансформаторы, машинное отделение, конторы, склады и помещения, предназначенные для пассажиров. Лебедки в числе трех занимают три крыла, четвертое же является входом. Одна из лебедок наматывает главный трос, идущий от причального механизма; две другие приводят в натяжение оба боковых троса дирижабля. Для укрепления боковых тросов предусмотрено 24 бетонных массива, расположенных вокруг башни по окружности радиусом в 22 м 60 см. Все три лебедки башни установлены в нижнем помеще-

нии и приводятся в действие электрическим двигателем с гидравлической передачей; они управляются на расстоянии машинистом, которому поручено проведение всей операции причаливания. Скорость выбирания равна 15 м в минуту для нагрузки в 15 т, и 45 м в минуту, если мы имеем дело с тросом малого диаметра. Барабаны могут принять 1500 м троса 19 мм в диаметре, при наматывании в 5 концентрических кругов. Эта длина была установлена в предвидении будущих дирижаблей, так как для R-101, объем которого равен лишь 140 000 м³, только 600 м используются на центральной лебедке, а 900 м в боковых лебедках.

Башня обслуживается лифтом с подъемной силой 1350 кг. Скорость подъема лифта равна 45 м в минуту. Он приводится в движение мотором трехфазного тока. Металлическая лестница шириной в 1 м окружает клетку лифта, сама она в свою очередь помещается в квадратной клетке, стены которой имеют тепловую изоляцию. Пассажирам приходится обязательно пользоваться лестницей, расположенной между верхней площадкой лифта и приемной платформой.

Обеспечение корабля водой осуществляется станцией, расположенной на расстоянии 1,6 км, которая в свою очередь соединена трубопроводом длиной в 3 км с ближайшим водоемом железнодорожного ведомства. Станция имеет железобетонный резервуар, вмещающий 200 м³ воды, которая употребляется в качестве балласта для погрузки, а также для хозяйственных и противопожарных целей. Вода подается на башню электрическим насосом, имеющим производительность 1000 л в минуту, при напоре в 78 м водяного столба, и соединенным с вспомогательным бензиновым насосом. Другая цистерна на 50 м³ предназначена для питьевой воды, очищаемой химическим способом и посредством имеющегося фильтра; питьевая вода нагнетается поршневым насосом двойного действия с расходом в 400 л в минуту при напоре в 45 м водяного столба. Этот насос приводится в действие и останавливается автоматически.

У основания башни неочищенная и питьевая вода принимаются особыми насосами, дающими дополнительное давление для подачи воды до верхушки башни.

Для снабжения дирижабля бензином в подвале под башней сооружена специальная цистерна на 40 000 л. Бензинохранилище—с инертной средой; оно заполняется водой, давлением которой бензин подается на вершину сооружения.

Снабжение водородом производится станцией, расположенной на расстоянии 750 м, с которой башня соединена трубопроводом диаметром 30 см. Канавы, в которой он помещается, соединена с отстойником для воды, расположенным около цистерны горючих веществ.

Водородный завод содержит две установки, производящих каждая по 560 м³ водорода в час, подавая его давлением 125 мм водяного столба; вместимость газгольдера равна 1400 м³. Получаемый газ измеряется на верхушке башни специальным счетчиком, который может пропускать в час до 1700 м³ газа, после прохождения через расширитель, снижающий давление до 30 мм водяного столба.

Министерство национальной обороны озаботились снабжением башни радиотелефонной и телеграфной установкой и метеорологическим обслуживанием; кроме того башня соединена с общей телефонной сетью Канады.

Причалное приспособление установлено пневматическое, описание его дано на стр. 21.

Причалное сооружение в Детройте

Причалное сооружение в Дирборне (район Детройта) снабжено установкой, подающей корабль к земле, и тем самым соединяет в себе достоинства и причального сооружения и сооружения для стоянки воздушных судов.

Дирижабль у земли может быть укреплен и легко разгружаем. Кроме того при таком положении его равновесие не зависит более от подъемной силы, так что при необходимости можно без труда опоражнивать для починки отсеки и ремонтировать мотор. Башня, общий вид которой изображен на рис. 29, представляет собой стальное сооружение решетчатой конструкции треугольного сечения, заканчивающееся в своей нижней части тремя ногами. Общая высота

конструкции — 64,0 м. Дирижабль пришвартовывается на этой высоте своей носовой частью, причем он легко достигает места причала с сильным наклоном в любую сторону. Ошвартованный дирижабль опускается до уровня земли прикрепленным к мачте, передвигаясь носовой частью вместе с салазками по хоботу, расположенному несколько наклонно по ребру башни. Спущенный до уровня земли, он может вращаться вокруг оси башни, опираясь своими двумя гондолами на тележки, перемещающиеся по концентрическим дорожкам.

Конструкция сооружения состоит из треугольного портала 15,55 м высоты, 21,65 м ширины у основания и 9,15 м в своей верхней части. Над порталом возвышается пирамидальная башня 35,85 м высоты, треугольного сечения с укрепленной наверху ее цилиндрической частью 4,20 м в диаметре, которая укрывает механизм и несет на себе маневровую площадку. На верхней части цилиндра расположено причальное приспособление, описанное нами на стр. 25. Направляющие для опускания корабля сконструированы в виде [образного профиля и состоят из отдельных звеньев, служащих поддержкой для причальной воронки, скользящей по длине этого „хобота“ при помощи бронзовых салазок.

Направляющие прикреплены к четырем ободам, равномерно распределенным по их высоте, которые вращаются по концентрическим кругам, составляющим часть конструкции мачты.

Пассажиры спускаются из кабин, когда корабль находится у земли, посредством трапов, а груз сбрасывается на тележки, поданные под расположенные в нижней части дирижабля люки.

Ошвартованный дирижабль разгружается таким образом, чтобы натяжение удерживающих его у тележки тросов было по крайней мере не менее одной тонны, что способствует устойчивости корабля. В случае внезапной нагрузки дирижабля, например при выпадении снега или осадении инея, его груз воспринимается тележками, рассчитанными на такие нагрузки.

Как мы уже говорили, направляющие прикреплены к четырем ободам, которые могут вращаться вокруг мачты.

Движение направляющих производится, когда дирижабль еще не прикреплен к башне, электрическим мотором 7 л. с., приводящим в движение коренную шестерню, расположенную на главном и нижнем ободах, общим передаточным валом большой длины. Подъем на вершину мачты обеспечен лестницей и подъемной машиной, поднимающей со скоростью 60 м в минуту. Насос, приводимый в движение мотором в 7,5 л. с., снабженный трубопроводом 63 мм в диаметре, поднимает воду к верхушке мачты. Расположенный в нижней части резервуар в 40 м³ служит, в случае необходимости, для быстрого пополнения водяным балластом. Подача бензина производится центробежным насосом, приводимым в движение мотором в 5 л. с., подающим его в трубопровод 50 мм в диаметре, с пропускной способностью около 120 л в минуту. Гелий или водород подаются трубопроводом 150 мм в диаметре из баллонов сжатого газа, расположенных в нижней части конструкции. Контакты для зарядки аккумуляторной батареи, провода электрического освещения и телефонная линия примыкают к главной платформе. Лебедки, управляющие причалом, снабжены приспособлением, ограничивающим силу натяжения, благодаря которому тросы сдают в случае избыточного напряжения. Если же, наоборот, тросы ослабевают, что бывает при быстром снижении дирижабля под действием порыва ветра, движение лебедок ускоряется, чтобы поддержать тросы натянутыми. В главном тросе при полной мощности в 50 л. с. мотора развивается усилие на растяжение более 7 т, при скорости выбирания около 25 м в минуту. Эта скорость может быть уменьшена до 2 м в минуту действием реостатов мотора. Две лебедки направляющих тросов приводятся в действие мотором в 35 л. с. каждая, управляемыми на расстоянии кнопкой; каждый из них может развивать силу тяги в 2 т со скоростью 60 м в минуту. Все части лебедки так рассчитаны, что могут выдерживать двойную нагрузку против нормальной. Скорость выбирания может быть минимально доведена до 6 м в минуту реостатами.

Управление различными маневрами может производиться из двух пунктов: из одного у основания мачты в машинном отделении, и из другого — на вершине, на главной платформе; последний дает наилучший обзор и наблюдение за маневрами причала. Конструкция освещается прожекторами, которые направляют световые лучи по длине стоек башни. Причальные массивы освещены четырьмя лампами в 1000 V, помещенными на крыше машинного отделения. Каждый

Сооружение для стоянки корабля в Ленинграде

Из сооружений, обеспечивающих только стоянку корабля, наиболее типичным будет установка, которая служила в Ленинграде для приема корабля Z-L-127.

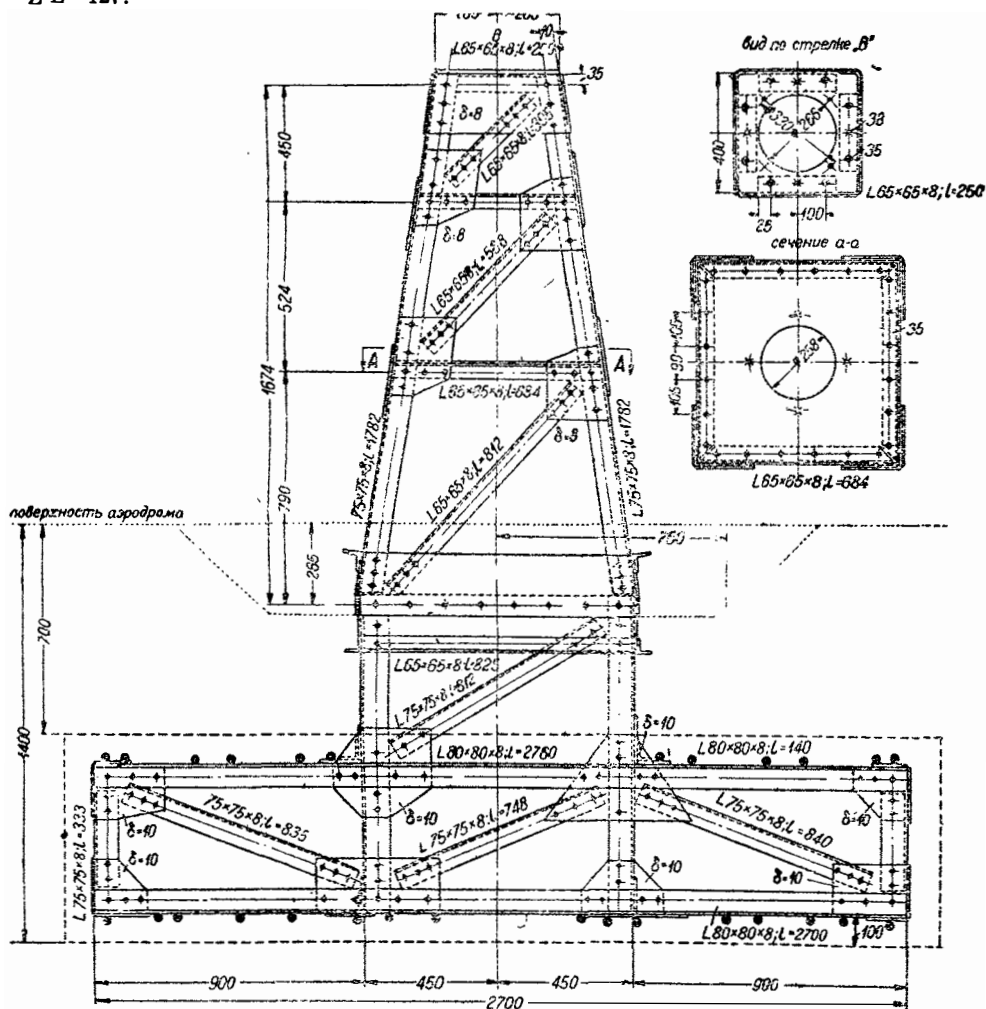


Рис. 82. Сооружение для стоянки L-Z—127 в Ленинграде.

Основная часть сооружения представляет собою клепаную металлическую конструкцию высотой 1,76 м, имеющую форму усеченной пирамиды с квадратным сечением.

Стороны верхнего основания—0,4 м и нижнего—0,92 м. Ребра мачты склепаны из уголков $75 \times 75 \times 8$ см.

Ребра башни на уровне земли из наклонного положения переводятся в вертикальное и идут вниз. На глубине около 0,4 м они входят в толщину железобетонного туюфака—основания башни, в котором утоплена нижняя часть клепаной конструкции, связанной с конструкцией самой башни.

В центре башни, через круглые прорезы, сделанные в диафрагмах из котельного железа, поставленных на высоте горизонтальных стержней, проходит ось мачты, завершающаяся двойным шарниром, к которому крепится причальный конус. Для регулирования высоты подъема этого приспособления имеется установочный винт.

Общий чертеж клепаной части причальной башни с указанным в разрезе железобетонным основанием и утопленной в него нижней частью клепаной железной конструкции дан на рис. 82, из которого можно почерпнуть все основные размеры и детали соединения.

Следует заметить, что верхняя часть с наклонными ребрами может быть снята, а место для основания выравнено, и тогда поле становится годным для работы самолетов

Стоимость подобного сооружения по сравнению с высокими сооружениями типов, описанных выше,—ничтожна: она составляет всего около 5000 руб., тогда как стоимость сооружения для причала исчисляется сотнями тысяч рублей.

Опыт использования подобной башни для стоянки корабля L-Z—127 оказался вполне удачным. Под заднюю моторную гондолу корабля была подведена тележка с пневматическими шинами, а к кораблю подвешен балласт, несмотря на то, что круг, по которому каталась тележка при поворотах корабля по ветру, был лишь укатан катками, перемещение совершалось очень легко, и даже при самом слабом ветре корабль все время вращался вокруг башни, будучи прикреплен к ней передней частью гондолы управления.

Быстрота и легкость установки подобных конструкций, ее незначительные размеры, делают этот тип сооружения заслуживающим большого внимания, имея в виду будущее развитие дирижаблестроения в СССР и развертывание линий воздушных сообщений на дирижаблях.

Очевидно в воздухобазах наряду с высокими сооружениями, обеспечивающими причал корабля, будет иметься по несколько установок такого типа, дающих возможность кораблю стоять продолжительное время без работы команды.

Деревянная башня сплошного сечения

Деревянная башня сплошного сечения запроектирована в ЦНИИПС в виде оболочки (рис. 28). В ее сплошности заключается основное средство борьбы с пожарной опасностью, но оно явно недостаточно в силу появляющейся тяги вдоль тела башни, поэтому нижняя зона должна быть изолирована внутри от возможности возгорания дерева. Снаружи из тех же соображений тело сооружения покрыто плитками эternита. Оболочка, состоящая из 32 продольных брусьев сечением 16×16 в нижней части, 16×12 в верхней, связанных между собой двойным косым настилом из досок в 19 мм, идущим в обе стороны под углом 60° к горизонту,—опирается внизу на железобетонное кольцо. Высота оболочки 28,65 м. По ее высоте установлены через 4,3 м в нижней части и через 2,8 м в верхней—диафрагмы из брусьев 10×10 см. Бруски образуют трехслойные косынки, связанные между собой стойками и гвоздями, так что образуют диафрагмы типа, изображенного на рис. 60.

По высоте башня разбита на три изолированные друг от друга зоны, исключительно в противопожарных целях.

Внутри тела сооружения проходит шахта лифта и лестницы. Железобетонное кольцо, на которое опирается башня, стоит на 8 колоннах высотой 4,5 м, причем эти колонны продолжают под землю и опираются на кольцевой фундамент. Под землей между колоннами располагаются лебедочные помещения. В надземной части расположены помещения административные, пассажирские и помещения для команды—площадью 142 м^2 .

Вместе с металлической установкой причального приспособления башня дает высоту 40 м. Расход материала: дерева $68,7 \text{ м}^3$, металла на деревянную

часть 2338 кг, и на верхнюю часть 1067 кг. Рассчитывалась эта башня на горизонтальное усилие от корабля в 14 т.

Усилия в продольных брусках определялись из рассмотрения работы башни, как консольной балки под действием изгибающего момента, причем при определении момента инерции учитывалось только сечение работающих стоек без косога настила.

При подборе сечения учитывалась не только гибкость стойки между диафрагмами без учета обшивки, но и общая гибкость всего сооружения, для чего радиус инерции определялся из формулы:

$$\rho = \sqrt{\frac{I}{F}} = \frac{r}{\sqrt{2}};$$

так как стойки брались составные из трех досок, то в них появлялись силы сдвига от перерезывающей силы:

$$T = K_{сдв.} \frac{QS}{I} = K \frac{Q \omega r}{m r^3 \omega} = K_{сдв.} \frac{Q}{mr}$$

и от продольного изгиба:

$$T = K_{с.в.} \frac{S}{R} \left(\frac{1}{\varphi} - 1 \right) \frac{N}{F}.$$

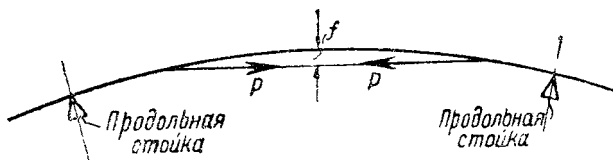


Рис. 83.

где $2m$ — число стоек; r и R — внутренний и наружный радиусы; ω и F — площади стойки и их сумма; S — статистический момент сдвигаемой части $S = \omega r$. Количество необходимых гвоздей, препятствующее сдвигу:

$$n = 1,5 \frac{\Sigma T}{2 \cos 30^\circ \cdot T_p},$$

где 1,5 — коэффициент, увеличивающий число гвоздей на случай попадания их в щели, T_p — сила, которую выдерживает гвоздь на сдвиг, а $\frac{\Sigma T}{2 \cos 30^\circ}$ — усилие, развивающееся в доске обшивки при сдвиге T ;

$$P = \frac{T}{2 \cos 30^\circ}.$$

Длина участка, воспринимающая эту силу, равна длине доски между стойками, спроектированной на направление стоек, т. е.

$$l_l = L \sin 30^\circ.$$

В досках косога настила, кроме напряжения сжатия или растяжения, возникают еще и напряжения от действия $M = Pf$ (рис. 83). При определении этого момента учитывают неразрезность досок. Для усиления работы косога настила с внутренней стороны между стойками ставят еще рейки 3×5 см. Эти рейки уменьшают свободную длину доски обшивки при подсчете гибкости досок.

11. ПРИМЕР ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ

Приведем пример эскизного решения причального сооружения для воздушного корабля объемом в 50000 м^3 , длиной 152 м , диаметром миделя $30,4 \text{ м}$, площадью миделя 868 м^2 .

Мощность моторов 1500 л. с. Скорость полета максимальная — 100 км/час , крейсерская — 80 км/час .

Длина перегона между пунктами A и B , расположенными в средней Азии, равна 1000 м , один из пунктов — на высоте 500 м над уровнем моря, другой — 100 м .

В пункте B корабль сменяет 4000 кг груза и 10 человек пассажиров. Кроме того с корабля всегда сходят для оформления полета 5 работников команды.

Очертание головной части корабля возьмем по рис. 26.

Основные размеры сооружения

1. Высота сооружения до оси корабля.

$$h = 0,25 L = 0,25 \cdot 152 = 38 \text{ м.}$$

2. Очертание и размеры головки (по рис. 26).

1) Длина хода амортизатора:

Выберем причальное приспособление с пружинным амортизатором. Примем размеры пружины: радиус колец $R = 0,1 \text{ м}$, диаметр стержня пружины $d = 2r = 0,02 \text{ м}$, $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, число витков $n = 150$.

Наибольший ход будет при максимальной скорости причала, которую примем равной $0,3 \text{ м/сек}$ по формуле (12):

$$l_1 = \frac{4R}{r^2} v \sqrt{\frac{GnR}{3gE}} = \frac{4 \cdot 0,1}{0,01^2} \cdot 0,3 \sqrt{\frac{50 \cdot 000 \cdot 1,08 \cdot 150 \cdot 0,1}{3 \cdot 9,81 \cdot 2,1 \cdot 10^{10}}} \sim 1,4 \text{ м.}$$

Напряжения в пружине при этом будут:

$$t = \frac{3v}{4r\pi} \sqrt{\frac{GE}{3ghR}} = \frac{3 \cdot 0,3}{4 \cdot 0,01 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{50 \cdot 000 \cdot 1,08 \cdot 2,1 \cdot 10^{10}}{3 \cdot 9,81 \cdot 150 \cdot 0,1}} = 1170 \text{ кг/см} < 1200 \text{ кг/см}^2.$$

2) Беря длину пружины $1,4 + 1,5 = 2,9 \text{ м}$, делаем кожух для нее $l = 3 \text{ м}$. Размещая кардан на уровне сжатого амортизатора и давая запас $0,5 \text{ м}$ на устройство для боковой амортизации, — получим длину хвостовой части кожуха: $1,5 + 0,5 \text{ м} = 2,0 \text{ м}$.

3) Расстояние между опорными ногами, удерживающими кардан, на уровне нижнего конца причального приспособления (по формуле 15):

$$d = a + 2b = 2,0 + 2 \cdot 0,5 = 3,0 \text{ м.}$$

4) Разместив кардан на 3 м от оси корабля, проверим, допускает ли это наклон опорных ног. Если их направить по диагоналям квадрата, имеющего в месте прикрепления кардана сторону, равную 3 диаметрам колец пружины — 60 см , то его диагональ = $60 \cdot 1,41 = 84,5 \text{ см}$.

Расстояние до оси наклонной опоры:

$$\frac{d}{2} = \frac{84,5}{2} + y \sin \alpha.$$

Отсюда:

$$\sin \alpha = \frac{\frac{d}{2} - 42,25}{y} = \frac{150 - 42,25}{200} = 0,588;$$

$$\alpha = 36^\circ, \text{ берем } 40^\circ.$$

На уровне 33 м (низ причального приспособления):

$$d = 0,845 + 2 \cdot 2 \cdot 0,643 = 3,41 > 3,0 \text{ м.}$$

Минимальная сторона квадрата:

$$b = 3,41 \cdot 0,707 = 2,41 \text{ м.}$$

5) Высоту пилона башни берем до отметки низа причального приспособления, чтобы можно было закреплять последний в вертикальном положении к конструкции сооружения.

6) Минимальные размеры вверху определяются из условия размещения шахты лифта.

а) Всех людей отпускаем в первый рейс, а поднимаем в последний рейс лифта. В остальное время лифт работает для передачи грузов.

Для высадки 15 пассажиров, исходя из графика на рис. 22, потребуется площадь:

$$F = 0,27 \cdot 15 = 4,05 \text{ м}^2.$$

б) Полагая, что клетка лифта + устройства для закрепления, будут иметь высоту 4 м, устанавливаем, что пол кабины в верхнем положении займет отметку 29 м. Среднюю скорость лифта выберем 29 м/мин; тогда время работы лифта будет (по формуле 31):

$$T = \frac{2fS(h_1 + vt)}{v(F - f)} = \frac{2 \cdot 0,27 \cdot 65}{29} \cdot \frac{(29 + 29 \cdot 2)}{4,05 - 0,27} = 28 \text{ мин.} > 45 \text{ мин.}$$

(см. стр. 13).

Величина S включает в себя и грузы, выраженные через одинаковое с ними по весу число людей, так как неизвестен род груза:

$$S = 15 + \frac{4000}{80} = 65 \text{ чел.}$$

с) Минимальный диаметр сооружения на отметке 29 м по формуле (34):

$$d = 1,41 \sqrt{4,05} + 0,6 = 3,44 \text{ м.}$$

Минимальная сторона квадрата:

$$a = \sqrt{3,44} = 1,86 \text{ м} < 2,41 \text{ м} = b.$$

д) Окончательно принимаем размер, обеспечивающий на этом уровне размещение лестниц в 1 м шириной:

$$a = 1,86 + 2 \cdot 1 = 3,86 \simeq 4,00 \text{ м;}$$

при диаметре окружности $d_a = 4,00 \cdot 1,41 = 5,64 \text{ м.}$

7) Минимальные размеры по низу определяются из угла наклона граней, который мы примем в 6° .

$$d_n = d_a + 2 h \operatorname{tg} 6^\circ = 5,64 + 2 \cdot 29 \cdot 0,105 = 11,74 \text{ м,}$$

а размер грани:

$$b = 11,74 \cdot 0,707 = 8,3 \text{ м.}$$

8) На отметке 30 м устраиваем на консолях платформу $d = 6,4 \text{ м}$ так, чтобы на расстоянии 6,5 м от вершины ее перила не выходили за пределы габарита (рис. 26).

Размеры установок для обслуживания работы сооружения

1. Установка для причала.

а) Расстояние для фундаментов блоков боковых тросов [формула (8)]:

$$R = \frac{h}{\sin \alpha} \sqrt{\cos^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta} = \frac{38}{0,5} \sqrt{0,75 + 1} = 100,5 \text{ м, берем } 100 \text{ м.}$$

б) Помещение лебедочной.

Усилие в главном тросе, при максимальной скорости v , равной крейсерской скорости корабля $22,5 \text{ м/сек}$, $\alpha = 65^\circ$; $\beta = 25^\circ$ [по формуле (3)]:

$$S = C_{\mu} v^2 u^{2/3} \cos \alpha + \frac{G}{g} w \cos \beta;$$

$$S = 0,25 \cdot 0,125 \cdot 515 \cdot 5^{2/3} \cdot 10^{2/3} \cdot 0,422 + \frac{50000 \cdot 1,08}{9,81} \cdot 0,1 \cdot 0,905 \simeq 4500 \text{ кг}.$$

Давая четырехкратную надежность, по *D.I.N.* 655 берем проволочный канат из 6 прядей по 19 проволок. Общий диаметр 20 мм с прочностью на разрыв 19 670 кг. Диаметр барабана лебедки:

$$D = 50d = 50 \cdot 2 = 100 \text{ см}.$$

Лебедка по своим размерам приближается к кардингтонской. Берем на одну лебедку 20 м². Площадь лебедочной

$$F = 20 \cdot 3 = 60 \text{ м}^2.$$

2. Установка для снабжения горючим.

а) Расход горючего:

$$Q = \frac{qNL}{v} = \frac{0,25 \cdot 1500 \cdot 1000}{80} = 4680 \text{ кг}.$$

б) Емкость расходного бензинохранилища:

$$Q^1 = 2 \cdot Q = 9360 \sim 10000 \text{ кг}.$$

Бензинохранилище осуществляем в виде цистерны, вынося его за пределы летного поля. Насосную, для создания напора, размещаем при сооружении (см. схему размещения оборудования, рис. 84), площадь ее берем 13 м².

с) Диаметр бензинового трубопровода:

$$d = 1,125 \sqrt{\frac{Q}{T_p v}};$$

$$d = 1,125 \sqrt{\frac{4680}{45 \cdot 60 \cdot 700 \cdot 0,75}} = 0,0625 \text{ м}.$$

Берем трубы $d = 6 \text{ мм}$; в этом случае скорость подъема несколько возрастет, но будет меньше 1 м/сек. Трубопровод пускаем вдоль одной из направляющих клеток лифта.

д) Снабжение смазочным ведем посредством подачи его в бидонах лифтом.

Расход смазочного 468 кг, а лифт поднимает за один оборот 15×80 в 1200 кг, причем время подачи потребует всего 6 минут, а у нас в запасе 17 минут.

е) Склад для смазочного делаем при сооружении совместно со складом для запасных частей.

Площадь берем 15 м.

3. Установка для снабжения газом.

а) Расход газа на сохранение высоты полета:

$$u_1 = \frac{Q}{\gamma} = \frac{4680}{1,08} = 4330 \text{ м}^3.$$

б) Расход газа на снижение:

Корабль должен будет при перелете из пункта А в пункт В снижаться на высоту:

$$(500 + 38 + 600) - (100 + 38) = 1000 \text{ м}.$$

Разность в объеме при высоте в 1000 м³ (см. табл. 1, стр. 23):

$$u_2 = h_{h=1000} - u_{h=0} = 50\,000 \left(\frac{1}{0,9074} - 1 \right) = 5510 \text{ м}^3.$$

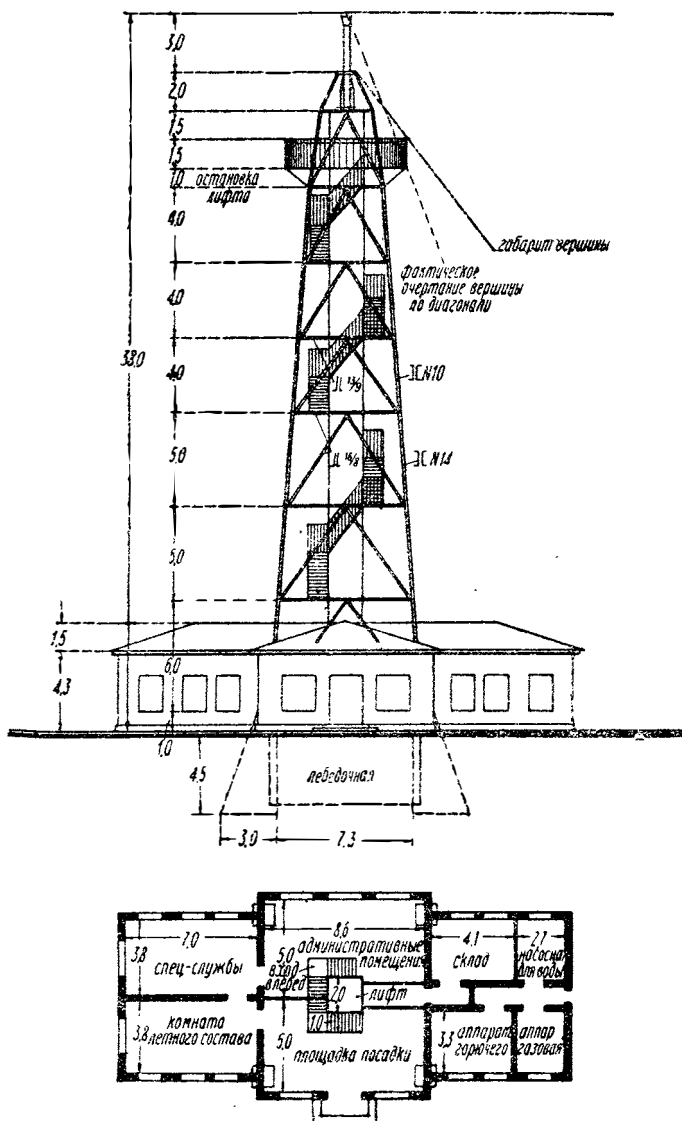


Рис. 84. Эскизный проект причального сооружения.

с) Общий расход газа:

$$u = 4330 + 5510 = 9840 \text{ м}^3 \sim 10\,000 \text{ м}^3.$$

д) Диаметр газопровода по формуле (24):

$$d = \sqrt[5]{0,114 \cdot q^2} = \sqrt[5]{0,114 \cdot 13,35^2 \cdot 10^6} = 28,94 \sim 30 \text{ см},$$

$$q = 10000 \frac{60}{45} = 13350.$$

е) Установку для подачи газа на корабль монтируем в изолированном помещении при основании сооружения; площадь помещения 10 м².

ф) При таком большом расходе газа, за пределами летного поля устанавливается газовый завод или, во всяком случае, газгольдер.

4. Установка для снабжения балластом.

а) Потребность в балласте:

$$Q = 0,09P = 0,09 \cdot 50000 \cdot 1,08 \simeq 5000 \text{ кг.}$$

Расход в секунду:

$$q = \frac{5000}{45 \cdot 60} = 1,85 \text{ кг/сек} < 10 \text{ кг/сек.}$$

Запас воды и диаметр трубопроводов рассчитываем на пожарные нужды из расчета работы пожарного трубопровода в течение 30 минут.

б) Емкость водоема:

$$Q = 10 \cdot 30 \cdot 60 = 18000 \text{ кг},$$

$$u = 18 \text{ м}^3.$$

Водоем устраиваем при основании сооружения, погружая его в землю.

с) Мощность установки для подачи воды:

$$N = \frac{1,15Qh}{T \cdot 75\eta} = \frac{1,15 \cdot 18000 \cdot 38}{80 \cdot 60 \cdot 75 \cdot 0,6} = 9,7 \sim 10 \text{ л. с.}$$

д) Диаметр трубопровода.

Диаметр трубопровода берем по формуле Вейсбаха (табл. 4), 2 трубы по 80 мм диаметром, при скорости 1000 мм/сек.

Общий расход 603 л/мин = 10 л/сек.

е) Площадь насосной берем 10 м², размещая ее при основании сооружения.

Таблица 4

Количество воды, подаваемое трубопроводом, в л/мин и потеря напора в см на 1 пог. метр (по формуле Вейсбаха)

Скорость м/сек	Расход	Внутренний диаметр в мм								
		20	25	30	35	40	50	60	70	80
0,8	q	15,08	23,56	33,93	46,18	60,32	94,25	135,72	184,73	241,27
	i	4,07	3,26	2,72	2,33	2,04	1,63	1,36	1,16	1,02
0,9	q	16,96	26,51	28,17	51,95	67,85	106,03	152,68	207,82	271,43
	i	5,03	4,03	3,35	2,86	2,52	2,01	1,68	1,44	1,26
0,95	q	17,9	27,98	40,29	54,84	71,62	111,92	161,16	219,36	286,51
	i	5,54	4,44	3,70	3,17	2,77	2,22	1,85	1,56	1,34
1,0	q	18,85	29,45	42,41	57,73	75,40	117,81	169,65	230,91	301,59
	i	6,08	4,87	4,05	3,48	3,04	2,43	2,03	1,74	1,52
1,05	q	19,79	30,93	44,53	60,13	79,17	123,70	178,14	242,45	316,67
	i	6,64	5,13	4,23	3,79	3,32	2,66	2,21	1,90	1,66

5. Установка для обслуживания пассажиров.

- а) Лифт площадью 4,00 м² (см. 1 стр. 117).
- б) Платформа посадки:

$$F = 2S = 2 \cdot 15 = 30 \text{ м}^2.$$

Такая площадь устраивается при входе в лифт внизу сооружения. У верхней остановки лифта используем площадь кольцевой платформы.

с) Лестницу шириной в 1,00 м ведем по контуру шахты лифта, снаружи обшиваем, оставляя открытым последнее звено лестницы, от платформы посадки верхней кольцевой платформы. Лестницы снабжаем перилами высотой 1,5 м, обшивая их сеткой.

6. Помещения, обслуживающие работу швартовой точки.

- а) Административные помещения, канцелярии начальника — 25 м².
- б) Комнаты отдыха летного состава — 25 м².
- с) Комнаты специальных служб — 25 м².

7. Размещение помещений.

Лебедочная под землей между фундаментами. Остальные помещения, для удобства сообщений с кораблем, — внизу сооружения в одноэтажной постройке с центром, занятым лифтом (рис. 84), причем площади административной группы и комнаты посадки увеличены за счет бытовых помещений.

Раскосы пилона будут в верхней части помещения пересекать стены постройки, что не вполне удобно, но в условиях Средней Азии это не вызовет особых неудобств.

Конструкция башни

1. Материал — металл. В Средней Азии местных материалов, годных для нашей цели, не имеется. Не имеется близко и лесных районов. Наиболее быстрое возведение из собранных на заводе элементов обеспечит металлическая конструкция.

2. Форму выбираем четырехугольную, потому что при этой форме величина грани [формула (35)] не выходит за пределы, допустимые для металла:

$$b = d_n \sin \frac{180}{n} = 11,74 \cdot \sin 45^\circ = 8,30 \text{ м}.$$

3. Решетку выбираем треугольную, так как это несколько уменьшает поперечные раскосы перед решеткой с перекрестными раскосами. Делать однораскосную решетку неудобно в силу того, что получится увеличенная длина раскоса, что сильно скажется на гибкости.

4. Расстояние между горизонтальными поясами меняем по зонам нижняя 6 м, 2-я и 3-я панель по 5 м, а 4-я, 5-я, 6-я и 7-я панели по 4 м.

5. На границе 1-го, 3-го и 6-го ярусов устанавливаем горизонтальные диафрагмы для обеспечения геометрической неизменяемости системы.

6. Наклон граней у верхнего яруса увеличиваем так, чтобы стойки карданного подвеса уперлись в узлы пилона.

Силовые факторы, действующие на сооружение

1. Действие корабля по формуле (46а) и (48):

$$H = v^2 S (0,144 C_x + 0,114 C_y) = 27,8^2 \cdot 868 (0,144 \cdot 0,041 + 0,114 \cdot 0,1) = 11600 \text{ кг},$$

$$Z = 27,8^2 \cdot 868 (0,125 \cdot 0,11) = 9260 \text{ кг}.$$

по графику на рис. 39 при $\lambda = \frac{152}{30,4} = 5$:

$$\begin{aligned} C_x &= 0,041 \\ C_y &= 0,1. \end{aligned}$$

2. Действие ветра на узлы.

а) Давлением ветра на конструкцию выше 33 м пренебрегаем.

б) Давление ветра высчитываем в двух зонах по формуле (43) от 0 до 17 м:

$$p = 0,0374 k_1 v^2 \left(\frac{h_x}{h} \right)^{1/2} = 0,0374 \cdot 0,85 \cdot 27,8^2 \left(\frac{17}{38} \right)^{1/2} = 17 \text{ кг/м}^2.$$

В случае отсутствия корабля — по Е.Н.С.П:

$$p = 40 \cdot 0,85 = 35 \text{ кг/м}^2$$

от 17 до 33 м:

$$p = 0,0374 \cdot 0,85 \cdot 27,8^2 \left(\frac{38}{38} \right)^{1/2} = 24,6 \sim 25 \text{ кг/м}^2$$

В случае отсутствия корабля по Е.Н.С.П

$$p = 55 \cdot 0,85 = 47 \text{ кг/м}^2$$

с) Давление ветра на узлы по формуле (49):

$$P_i = \frac{p_i h_i}{6} (2B_i + B_{i+1}) + \frac{p_{i-1} h_{i+1}}{6} (B_{i-1} + 2B_i),$$

$$P_8 = \frac{25 \cdot 4}{6} (4 + 2 \cdot 2,86) = 160 \text{ кг},$$

$$P_7 = \frac{25 \cdot 4}{6} (2 \cdot 4 + 2,86) + \frac{25 \cdot 4}{6} (4,59 + 2 \cdot 4) = 390 \text{ кг},$$

$$P_6 = \frac{25 \cdot 5}{6} (2 \cdot 4,59 + 4) + \frac{25 \cdot 4}{6} (5,28 + 2 \cdot 4,59) = 480 \text{ кг},$$

$$P_5 = \frac{25 \cdot 4}{6} (2 \cdot 5,20 + 4 \cdot 60) + \frac{25 \cdot 4}{6} (5,84 + 2 \cdot 5,20) = 520 \text{ кг},$$

$$P_4 = \frac{25 \cdot 4}{6} (2 \cdot 5,84 + 5,20) + \frac{17 \cdot 5}{6} (6,60 + 5,84) = 540 \text{ кг},$$

$$P_3 = \frac{17 \cdot 5}{6} (2 \cdot 6,60 + 5,84) + \frac{17 \cdot 5}{6} (7,36 + 2 \cdot 6,60) = 560 \text{ кг},$$

$$P_2 = \frac{17 \cdot 5}{6} (2 \cdot 7,36 + 6,60) + \frac{17 \cdot 6}{6} (8,3 + 2 \cdot 7,36) = 690 \text{ кг},$$

P_1 — передается на стены.

3. Перерезывающие силы.

На уровне 17 м:

$$Q = H + \Sigma P_i = 11\,600 + 160 + 390 + 480 + 520 + 540 = 13\,690 \text{ кг}.$$

На уровне 1 м:

$$Q = 13690 + 560 + 690 = 14\,940 \text{ кг}.$$

4. Моменты.

На уровне 17 м:

$$M = Hx - \Sigma P_i x_i = 11\,600 \cdot 21 + 160 \cdot 16 + 390 \cdot 12 + 480 \cdot 8 + 520 \cdot 4 = 255\,760 \text{ кг/м} \simeq 255\,800 \text{ кг/м}.$$

На уровне 1 м:

$$M = 11\,600 \cdot 37 + 160 \cdot 32 + 390 \cdot 28 + 480 \cdot 24 + 520 \cdot 20 + 540 \cdot 16 + 690 \cdot 6 = 486\,050 \text{ кг/м} \simeq 486\,000 \text{ кг/м}.$$

5. Собственный вес по формуле (36):

$$G = 11,4 M \frac{h\gamma}{a_{\mu}^3} = 11,4 \cdot 486\,000 \cdot \frac{38}{11,74} \cdot \frac{7800}{1400 \cdot 10^4} = 10\,000 \text{ кг.}$$

Вес лифта принимаем в 2 т.

Вес причального приспособления с конструкцией прикрепления принимаем в 3 т.

Следовательно, учитывая вертикальную составляющую корабля $z = 9260 \text{ кг}$, $g = 14,26 \text{ т}$.

Усилия в стержнях

1. Опоры. Определяем усилия по формуле (57):

$$S = \frac{1}{k} \left[G \frac{x}{h} + g \right] + C \cdot a_{i \max};$$

на уровне 17 м:

$$S = \frac{1}{4} \left[10\,000 \frac{17}{32} + 14\,260 \right] + 7500 \cdot 2,92 \simeq 26\,795 \text{ кг};$$

на уровне 1 м:

$$S = \frac{1}{4} [10\,000 + 14\,260] + 7080 \cdot 4,15 \simeq 35\,465 \text{ кг.}$$

При квадратном сечении a_i равняется половине размера грани на данной высоте.

$$C_{h=17} = \frac{M}{\Sigma a_i^2} = \frac{255\,800}{4 \cdot 2,92^2} = 7500,$$

$$C_{h=1} = \frac{486\,000}{4 \cdot 4,15^2} = 7080.$$

2. Раскосы. Определяем усилия по формуле (63):

$$S_p = Q \frac{b}{B} \frac{h}{e} \frac{\frac{1}{\sin \alpha} - \cos \beta + \frac{\sin \gamma \cos (\beta + \gamma)}{\operatorname{tg} \alpha}}{1 - \cos (\beta + \gamma)^2};$$

на уровне 17 м:

$$\begin{array}{ll} \alpha = 53^\circ & h = 5,84 \text{ м} \\ \beta = 37^\circ & l = 4 \text{ м} \\ \gamma = 5^\circ & \end{array}$$

$$S_p = \frac{13\,690 \cdot 2,92}{2 \cdot 5,84} \cdot \frac{5,84}{4} \frac{1,25 - 0,799 + \frac{0,087 \cdot 0,742}{0,753}}{1 - 0,742^2} = 5962 \text{ кг};$$

на уровне 1 м:

$$\begin{array}{ll} \alpha = 55^\circ & h = 8,3 \text{ м} \\ \beta = 65^\circ & l = 6,0 \text{ м} \\ \gamma = 5^\circ & \end{array}$$

$$S_p = \frac{14\,940 \cdot 4,15}{2 \cdot 8,3} \cdot \frac{8,3}{6} \frac{1,22 - 0,818 + \frac{0,087 \cdot 0,765}{0,700}}{1 - 0,765^2} = 6175 \text{ кг.}$$

Подбор стержней конструкции

Опорные ноги выполняем из швеллеров, а пояса и раскосы из уголков.

1. Опорные ноги.

Выше отметки 17 м:

$$] [N10 \quad F = 2 \cdot 13,92 = 27,84 \text{ см}^2; \quad r_x = 3,91 \text{ см};$$

$$\frac{l}{r} = \frac{405}{3,91} = 103; \quad \varphi_1 = 0,548;$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} = \frac{26\,795}{0,548 \cdot 27,84} = 1750 \text{ кг/см}^2 < 1700 \text{ кг/см}^2 + 5\%.$$

Выше отметки 1 м:

$$] [N14 \quad F = 2 \cdot 20,92 = 41,84 \text{ см}^2; \quad r_x = 5,46 \text{ см};$$

$$\frac{l}{r} = \frac{606}{5,46} = 110; \quad \varphi = 0,511;$$

$$\sigma = \frac{35\,465}{0,511 \cdot 41,84} = 1660 \text{ кг/см}^2 < 1700 \text{ кг/см}^2.$$

2. Раскосы.

Выше отметки 17 м:

$$\lceil \rfloor 2 \text{ уголка } 13/9 \quad D = 14 \text{ см}; \quad F = 2 \cdot 28,99 = 57,98 \text{ см}^2; \quad r_x = 4,07 \text{ см};$$

$$\frac{l}{r} = \frac{500}{4,07} = 123; \quad \varphi_x = 0,44;$$

$$\sigma = \frac{5962}{0,44 \cdot 57,98} = 234 \text{ кг/см}^2.$$

Выше отметки 1 м:

$$\lceil \rfloor 2 \text{ уголка } 16/8 \quad D = 12 \text{ см}; \quad F = 2 \cdot 27,54 = 55,08 \text{ см}^2; \quad r_x = 5,11 \text{ см};$$

$$\frac{l}{r} = \frac{720}{5,11} = 141; \quad \varphi_x = 0,35;$$

$$\sigma = \frac{6175}{0,35 \cdot 55,08} = 320 \text{ кг/см}^2.$$

3. Пояса ставим из таких же уголков, как и раскосы.

4. Собственный вес конструкции:

$$G = 4(16,5 \cdot 16,42 + 17,5 \cdot 10,93 + 57,8 \cdot 22,76 + 52,0 \cdot 24,98) = 12312 \text{ кг}.$$

Фундаменты

1. Под каждую из опор устанавливаем фундаментный столб, не связывая их в одно целое поясами, так как все равно работа их будет совместной.

2. Силы, действующие на фундаменты, сведутся к силе:

$$N = 12\,312 + 14\,260 = 26\,572 \text{ кг}.$$

приложенной с эксцентриситетом:

$$\frac{M}{N} = \frac{486\,000}{26\,572} = 18,2 \text{ м}.$$

3. Чтобы обеспечить устойчивость сооружения, под каждую опору устанавливаем железобетонный фундамент размерами по низу $3 \times 3 \text{ м}$, по верху $1 \times 1 \text{ м}$,

высотой 5,5 м так, чтобы глубина его заложения равнялась 4,5 м, на 1,5 м глубже пола лебедочной.

а) Вес отдельного фундамента:

$$Q = \frac{5,5}{3} (3^2 + 1^2 + \sqrt{3^2 \cdot 1^2}) 2400 = 57\,000 \text{ кг.}$$

б) $N = 26\,572 + 57\,000 \cdot 4 \simeq 254\,600 \text{ кг.}$

$$с) \quad \sigma = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} = \frac{254\,600}{3^2 \cdot 4} + \frac{(486\,000 + 14940 \cdot 5) 6,65}{4 \cdot 3^2 \cdot 5,15^3};$$

$$\sigma = \left. \begin{matrix} 1,09 \\ 0,32 \end{matrix} \right\} \text{ кг/см}^2 < 2,5 \text{ кг/см}^2.$$

Стоимость сооружения без механического оборудования

1. Конструкция башни	$12,312 \cdot 1000 \cdot 1,25 = 15\,400$	руб.
2. Фундаменты	$23,8 \times 4 \times 200 = 19\,000$	"
3. Обслуживающие помещения	$256 \times 3,5 \times 50 = 45\,000$	"
4. Хранилище для воды	$18 \times 100 = 1\,800$	"
5. Бензинохранилище (цистерна)	$\frac{10000}{700} \times 100 = 1\,500$	"
6. Лифт с лестницами	$= 6\,000$	"
7. Причальное приспособление	$= 10\,000$	"

78400 руб.

Примечание. В проекте совершенно не рассмотрены санитарная, теплотехническая часть и сооружения, находящиеся в стороне от причального сооружения.

ЛИТЕРАТУРА, ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ КНИГИ

1. Соков В. С. и Курышев М. А. Причальные мачты и башни. Изд. Ин-та Гр. В. Фл. 1932 г.
 2. Кардингтонская причальная башня. The Engineer 11—18/III 1927 г.
 3. Причальная башня Форда в Дирборне близ Детройта. Genie Civil 21/VI 1926 г.
 4. Причальная башня в Лейкхерсте. Genie Civil 29/III 1924 г.
 5. Скотт. Причальные башни. The Journal of the Royal Aeronautical Society, Август 1926 г.
 6. Самодвижущаяся причальная мачта для дирижаблей в Акроне. Engineering News Record, т. 107, № 4, 1931 г.
 7. Крейль. Техника приземления больших дирижаблей. Z. F. M. № 18, 1928. Berlin-Dalem.
 8. Ижевский М. М. Земное оборудование дирижабельных линий и аэропортов. Госстройиздат 1934 г.
 9. Стобровской Н. Воздушный корабль. ОНТИ НКТП 1935 г.
 10. Курышев М. А. Пределы высоты деревянных причальных башен. Изд. УКГВФ 1932 г.
 11. Курышев М. А. Ветровые нагрузки на причальные сооружения. Бюллетень Дирижаблестроя № 6/12 1934 г.
 12. Аистов Н. Н. Монтаж металлических конструкций. КУБУЧ 1933 г.
 13. Гульденбалк. Сооружение линий электропередач высокого напряжения. Энергоиздат. 1934 г.
 14. Динник. Расчет стержневых башен Шухова. Вестник Инженеров и Техников № 7 1933 г.
 15. Мерш. Железобетонные сооружения. ГНТИ 1931 г.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
1. Общий очерк	5
2. Работа причального сооружения	10
3. Оборудование причального сооружения	13
4. Классификация причальных сооружений	38
5. Основные типы конструкций причальных сооружений	39
6. Силы, действующие на причальное сооружение	48
7. Расчет на прочность причального сооружения	59
8. Детали конструкций причального сооружения	83
9. Производство работ по сборке причальных сооружений	101
10. Дополнительные сведения о причальных сооружениях	107
11. Пример эскизного проекта причального сооружения	116

Отв. редактор *Д. Я. Акимов-Перетц.*

Техн. редактор *Е. В. Климина.*

ТКК № 32 от 11/IV 1936. Тираж 1000. Сдано в набор 3/XII 1935 г. Подп. в печ. 8/V 1936 г. Формат бум. 62 × 94. Уч.-авт. л. 9,44. Бум. лист. 4 + 1 вкл. Печ. зн. в бум. листе 101.000. Заказ № 1882. Ленгорлит № 11080. Выход в свет май 1936 г.

3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

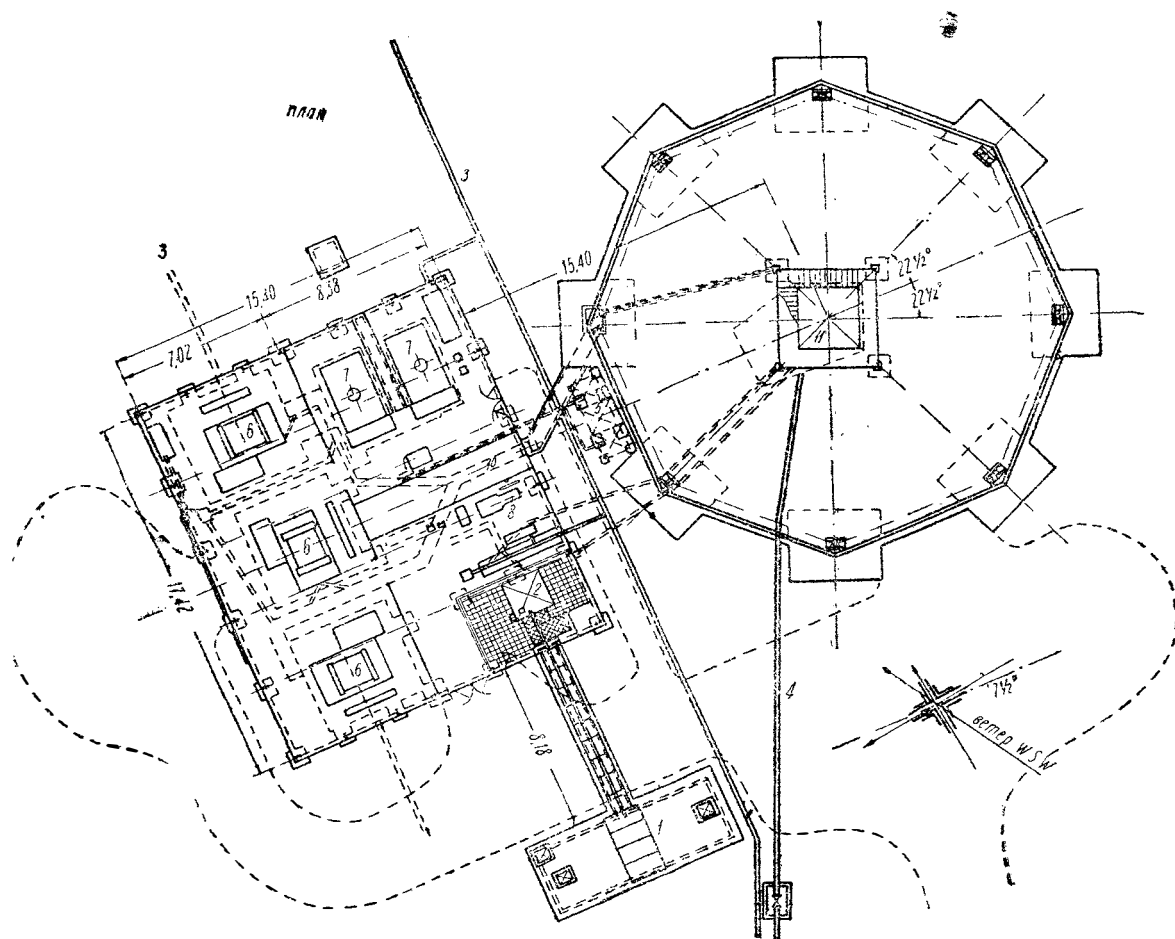
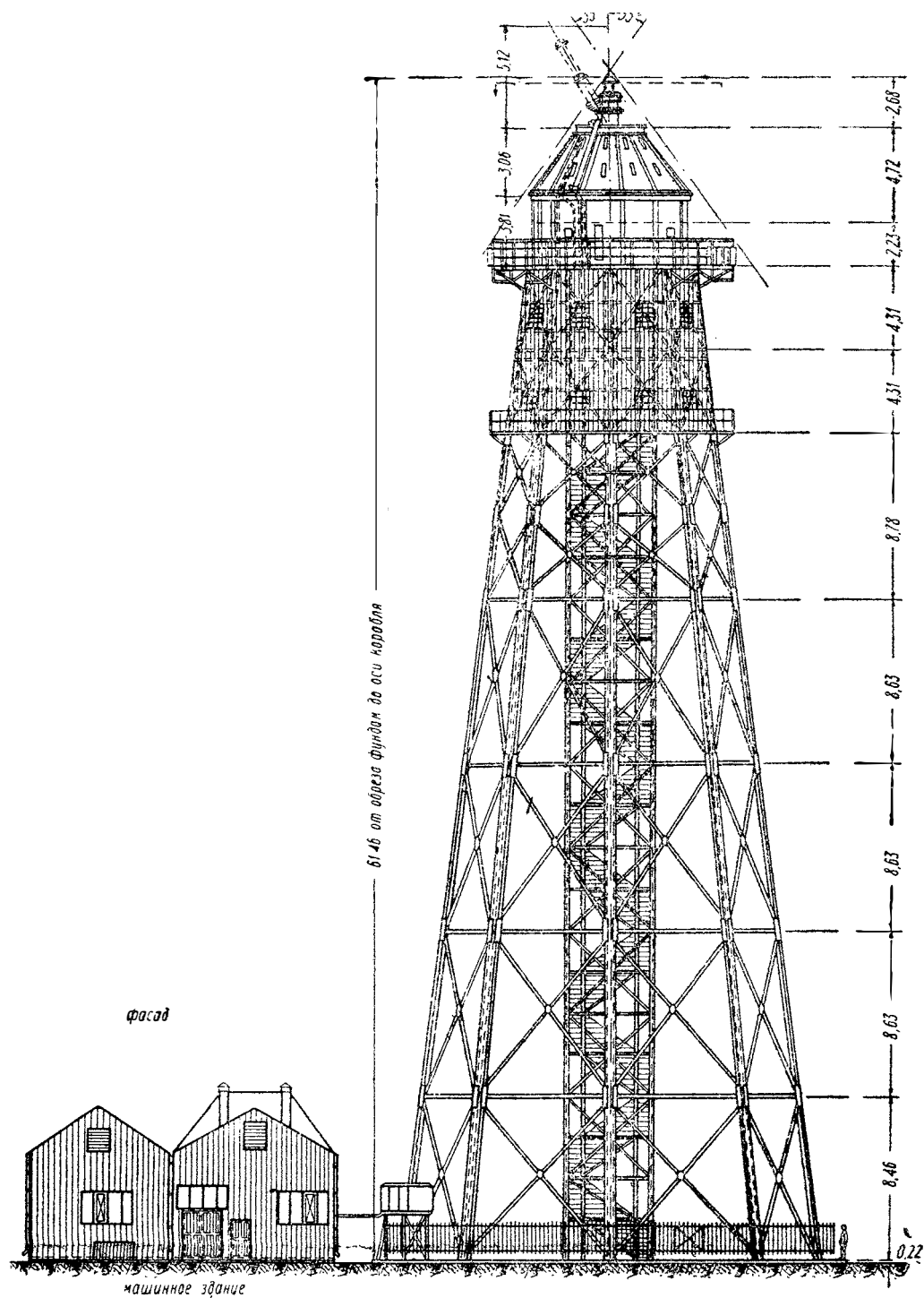


Рис. 81. Причальная баня в Кардингтоне.

1 — цистерна бензинохранилища, 2 — аппаратная бензинохранилища, 3 — водопровод, 4 — газопровод, внизу колодец с газовым вентилем, 5 — масляные баки, 6 — лебедка для причала, 7 — котлы паровые, 8 — машинный зал: механизмы для подъема лифта, паровой и электрический насосы для воды, 9 — установка для подогрева масла, 10 — канал для главного причального троса, 11 — лифт.

ЦЕНА 1 р. 70 к.

А - 90 - 5 - 2