

Статический и динамический расчет клетки.

1. Статический расчет клетки.

«Лишний вес столь же бессмыслен в любом предмете, как значек на лущерской шляпе,—пожалуй, еще бессмысленнее. Значек может в конце концов служить для опознания, в то время как лишний вес означает только лишнюю трату силы. Для меня загадка, на чем основано смещение тяжести и силы. Вес очень хорош в бабе для забивки свай, но к чему приводить в движение лишний вес, когда этим ничего не достигается? К чему обременять специальным веом машину, предназначенную для транспорта? Почему бы не перенести лишний вес на груз, который транспортируется машиной? Полные люди не в состоянии бегать так быстро, как худощавые, а мы придаем большей части наших транспортных машин такую грузность, словно мертвый вес и объем увеличивают скорость? Бедность в значительной степени происходит от перетаскивания мертвых грузов».

Так пишет Г. Форд в своей книге: «Моя жизнь и достижения».

Эти слова точно специально написаны, как бичующая критика нерационального использования веса в шахтных клетях. Трудно сказать, какими основаниями пользовались при построении подавляющего числа шахтных клеток, но, судя по тому, что литература по построению клеток исчерпывается всего двумя работами: Н. Дессара. Подъемные клетки (на французском языке) и С. А. Заборовского. Динамический расчет двухэтажной рудничной клетки (на русском языке), и что большинство клеток не удовлетворяет экономному использованию материала,—можно, не задумываясь, отметить: темную, мало изведанную область в строительном деле. Строят очевидно на глазок по принципу: «сообразно и соответственно». А между тем с возрастанием глубины шахт, с нарастающей потребностью увеличивать добычу полезных ископаемых, вопрос о весе клетки приобретает большое значение.

Начать с того, что для легкой клетки можно изготовить более надежные парашюты, а это тесно связано с безопасностью работы в предприятиях. Калейдоскопические взгляды на парашюты, начиная от полного отрицания их полезности, переходя к безразличному отношению и, наконец, завершая предписанием устройства парашютов при клетях, все это должно смениться на одно воззрение: выгоды и необходимости снабжать клетки рационально устроенными парашютами, действие которых должно проверяться так же часто, как испытываемый канат. Нельзя ни одной минуты забывать, что тут вопрос идет о человеческой жизни, и, следовательно, грошевые расчеты тут не причем.

Когда приходится говорить о работе в нормальных условиях, то тут необходимо отметить, что уменьшение мертвого груза, каковым является вес клетки, неминуемо поведет к облегчению работы машины, и значит, к экономии в приводной силе, к утилизации более легких двигателей. Если клеть облегченного веса предназначается для замены старой тяжелой клетки, то и тут появляются свои выгоды. Не меняя старого каната, на облегченной клетке можно поднимать той же самой машиной в полтора раза больше людей за каждый подъем, и все-таки нагрузка каната будет меньше первоначальной. А ведь это ведет к большому сокращению времени в горном деле, где все работы ведутся в срочном порядке, а спуск и подъем рабочей силы только отнимает расочее время.

Помимо сокращения времени на перемещение рабочей силы облегченная клеть дает возможность поднимать за каждый раз на том же канате больший полезный груз, что тоже дает экономию времени и увеличивает производительность предприятия. Сокращается время на спуск крепления. Наконец, облегченная клеть дает возможность той же машиной и тем же канатом обслуживать более низкие горизонты.

Облегчение клетки и возможность большего подъема людей за более короткое время имеет особенное значение для таких экстраординарных случаев в жизни шахты, каковыми являются пожар, взрыв, затопление шахты и т. п.

Какими путями можно идти к осуществлению облегчения веса клетки?

Их можно наметить несколько, но наибольший эффект должно дать соединение всех приемов в один—комплексный.

1) Установление нормального типа подъемных клеток, стандартизация клеток, что должно дать и легкие и дешевые клетки с необходимым числом рационально выбранных и расположенных звеньев.

2) Переход от заклепочных соединений к сварке, что должно дать экономию в весе примерно 30%.

3) Применение вместо железа, новейших сплавов, обладающих небольшим удельным весом и высокими механико-технологическими свойствами.

К числу таковых относятся сплавы алюминия.

Таблица 1.

М а т е р и а л.	Удельный вес	Кэф. расширения.
Немецкий сплав	2,90—2,95	0.0000 255
Американский сплав	2,85—2,90	0.0000 246
Силумин	2,5 —2,65	0.0000 222
Дуралюминий	2,8	0.0000 226

Таблица 2.

М а т е р и а л.	Механич. обработанный.					
	Прочность.		Удлинение %		Твердость.	
	Гверд	Мягк.	Гверд.	Мягк.	Гверд.	Мягк.
Немецкий сплав	20	30	20	10	55	90
Американский сплав	20	30	20	10	60	90
Силумин	18	30	30	5	60	—
Дуралюминий	38	42	20	15	60	150

Прочность берется в кгр./мм.².

Удлинение в % вычислено по формуле $L = 11,3 \sqrt{q}$.

Твердость (P = 500 кгр., шарик $\phi = 10$ мм.) в кгр./мм.².

Форд не задумался применить ванадиевую сталь для своих автомобилей в самом широком масштабе и добился самых поразительных результатов, а французы раньше его применяли эту сталь только для клапанов двигателей.

Тут, конечно, засела глубоко самая закоренелая рутина: французы не нашли в себе достаточно здравого смысла для использования только им известной ванадиевой стали, а Форд по обломку шпинделя вентиля (произошло столкновение на гонках французского автомобиля с фордовским) сразу определил, какой ценный образец материала попал в его руки, и приложил огромные усилия, чтобы наладить дело металлургии ванадиевой стали в Америке. Действительно, ванадиевая сталь обладает сопротивляемостью на разрыв почти в три раза большей, чем обычная углеродистая сталь, и заслуживает в строительстве большого внимания.

Можно поэтому смело повторить слова Форда: «ванадий должен применяться везде, где требуется крепость и легкость».

На ряду с ванадиевой сталью должны получить большое применение и сплавы алюминия, уже теперь завоевавшие себе обширное поле применения в самых разнообразных областях промышленной техники, науке и жизненном обиходе, но еще стучащиеся в дверь техники горного дела.

Подходя ближе к вопросу о расчете подъемных клетей, зададимся вопросом, что можно ожидать от этого нововведения?

Лучше всего в смысле показательности остановиться на примере.

Представим себе шахту в 1000 метров глубины, обслуживаемую канатом с удельным весом 0.00094 kg./куб. см. Пусть —напряжение каната у кулаков 100 kg., а у клетки 80 kg. Обозначим далее через S вес каната, через R максимальный радиус навивки, а через r —минимальный. Пусть нижняя клетка сидит на кулаках, а верхняя груженная клетка не дотронула до кулаков. Этот случай представляет обычное явление при подъеме, вследствие неодинаковой вытяжки обоих канатов. Назовем через M —максимальный момент сопротивления на валу бобины.

А теперь посмотрим, что произойдет у нас, если на канате будут подвешены грузы в 6000—5500 и 5000 килограммов.

Q .	$Q_1 = 6000$.	$Q_2 = 5500$.	$Q_3 = 5000$.
S kg.	10225	9405	8550
R cm.	395	381	371
r cm.	128	122	116
M kg. mt.	10574	9481	8432

Второй момент сопротивления меньше первого на 10,6%, а третий — на 20,6%. В действительности экономия при работе подъема выразится 4—6%, и только при маневрировании будет подниматься до вышеприведенных норм.

Если углубить шахту до 1050 метров и подвесить клетку к канату весом в 5000 килограммов, то

$$S = 9255 \text{ kg. и } M_{\max} = 8700 \text{ kg mt.}$$

Полагая же глубину шахты = 1000 метров и $Q = 6000$ kg., получим $M_{\max} = 10574$ kg mtr.

Разница в величине максимального момента сопротивления на валу бобины составит примерно 17,7%.

Этих соображений вполне достаточно для того, чтобы привлечь внимание конструкторов к рациональному выбору веса клетки.

Расчет клетки будем вести в двух предположениях:

1. Клетка подвешена к канату.
2. Клетка посажена на кулаки.

В состав каждой клетки входят следующие важнейшие части: а) горизонтальные рамы, б) вертикальные стойки с сетками, в) соединения и г) аксесуары или принадлежности клеток, главным, образом предохранительного характера.

Форма клетки и ее размер в значительной степени определяются условиями грунта, в котором проводится ствол шахты, и интенсивностью работы шахты. Таким образом, имеются клетки одноэтажные, двухэтажные, трехэтажные и четырехэтажные. В большее число этажей клеток почти не строят. Каждый этаж вмещает либо одну вагонетку, либо две, при чем в последнем случае вагонетки располагаются либо рядом, т. е. на двух путях, либо одна за другой, т. е. на одном пути.

Сечение клетки горизонтальной плоскостью представляет либо прямоугольник, либо прямоугольник со скошенными углами. Это всецело зависит от сечения ствола шахты.

Что касается конструкции клеток, то они довольно разнообразны, но целесообразно было бы установить для конструкции клеток такие же схемы, какие имеются для ферм, предназначенных для крыш. Тогда в значительной степени облегчена была бы ненужная работа раздумывания, какой конструкции отдать предпочтение и почему. Эта задача ждет своего решения и выполнение ее будет не бесполезным.

Приступая к проектированию клетки, нужно заранее знать, по крайней мере, поперечное сечение шахты, число вагонеток в клетке и их вес с грузом, а также расстояние между опорными точками колес вдоль рельсового пути и перпендикулярно ему.

После этого нужно остановиться на какой-либо конструкции, предпочитая постройки клеток известных заводов и обращая внимание на то, чтобы подвешивание клетки к цепям произведено было не за горизонтальные стержни, а за стойки. Расчету подвергаются рамы, расположенные горизонтально, и бока клетки, обращенные к проводникам.

1. Клеть подвешена цепями к стойкам.

а. Расчет рамы.

Самому большому воздействию при подвешенном состоянии клетки подвергается верхняя рама, от которой идут концы цепей, сходящиеся в узел около нижнего конца каната. В зависимости от того, как зацепляются нижние концы цепей, за стойки или за горизонтальные стержни, и подход к решению задачи будет различным.

Пусть концы цепей схватываются с верхними частями стоек (вертикальных стержней).

В этом случае верхняя рама подвергается сжатию, и можно без труда определить силы, сжимающие отдельные стержни рамы.

Клеть подвешивается либо на двух, либо на четырех, либо на шести цепях. Всегда стараются так урегулировать длину цепей, чтобы в каждой было одинаковое натяжение.

Наиболее часто встречается подвешивание клеток на четырех цепях.

Для этого случая инженером Дессаром предложена простая эпюра.

Строим прямой угол AOB (чер. 1), у которого, OA и OB представляют в масштабе половины сторон прямоугольника, образуемого четырьмя точками подвеса цепей. Линия AB будет представлять половину диагонали того же прямоугольника. Отложим линию AB на стороне OB , так что $AB = OC$.

Из точки C , как из центра, сделаем засечку длиной цепи в принятом нами для прямоугольника AOB масштабе. Таким образом, получим на стороне OA точку D . Прямая DC будет представлять в масштабе длину каждой из четырех подвесных цепей.

Нанесем от точки D вниз отрезок DG на линию OD и примем его равным общей нагрузке нижнего конца каната Q кгр. Масштаб для DG выбирается сообразуясь с чертежом, а $mm = 100$ кгр. Проводим теперь через точку G горизонтал до встречи с прямой DC в точке I. Таким образом, получим отрезок GI, представляющий горизонтальную составляющую напряжения в одной цепи, но в масштабе $4a$ $mm = 100$ кгр. Или же прямую GI можно рассматривать, как сумму четырех горизонтальных составляющих напряжения в цепи, но в масштабе a $mm = 100$ кгр.

Перенесем теперь GI на AB в положение AX и проведем XY параллельно CO.

В таком случае $XY = H_1$ будет действующей силой вдоль бока OB рамы, а AY — действующей силой вдоль бока OA и равной H_2 . Масштаб для H_1 и H_2 будет $4a$ $mm = 100$ кгр. Для уяснения порядка возникновения этой эпюры представим себе верхнюю раму, подвешенной симметрично в 4 точках A — B — C — D. (Чер. 2). Пусть точка приложения силы будет E. Напряжение в нижнем конце каната будет Q, и направлено это напряжение или сопротивление каната вверх. Соединим точку A с C и точку B с D. Пересечение линий AC и BD обозначим через O. Не трудно видеть из треугольника OED, что

$$OE = ED \sin \alpha$$

или

$$Q/4 = S_1 \sin \alpha,$$

где S_1 будет напряжение в каждой цепи.

Направление напряжений в цепях будет идти от точек A — B — C — D к точке E. Так как вся система находится в равновесии, то в треугольнике OED силы замыкаются, идя все время в направлении обратном движению часовой стрелки. Таким образом, напряжение — сопротивление в стержне EO будет идти от точки E к точке O, а в стержне OD от точки O к D.

Сопротивление в стержне OD будет равняться

$$Q/4 \cdot \cotang \alpha$$

Разложим сопротивление стержня OD на два напряжения в направлении OM и ON. Так как и в этом случае вся система находится в равновесии, то в треугольнике OMD силы замыкаются, идя в направлении движения часовой стрелки. Итак, вдоль стержня DA сила идет от точки D к точке A, а вдоль стержня DC от точки D к точке C.

Совершенно такая же картина получается у нас при рассмотрении узлов A, B и C. Отсюда ясно, что стержни рамы будут сжиматься.

Треугольники OMD и OED на (чер. 2) соответствуют треугольникам AOB и ODC на (чер. 1).

Для подсчета сечения стержней рамы нужно воспользоваться формулой Эйлера

$$I = \frac{k \cdot H \cdot L^2}{\pi^2 E},$$

где I представляет минимальный момент инерции поперечного сечения стержня в $kg \cdot mm$.

k — запас прочности ($k = 20$)

H — сжимающая стержень сила в kg.

L — длина стержня в mm.

E — модель Юнга в kg/mm^2 .

Так как при заклепочном соединении трудно ожидать прочного закрепления концов стержней, то и принимается равным единице, т. е. концы стержней предполагаются просто подпертыми.

Пример. Клеть подвешена на четырех цепях, концы которых образуют прямоугольник 1200×806 миллиметров. Длина цепи равна 1200 мм.

Общая нагрузка Q состоит из 1) веса клетки 1800 kg.; 2) веса 4 вагонеток, наполненных пустой породой; емкость вагонетки 6 гектолитров каждая, а вес с нагрузкой = 1100 kg.

Таким образом,

$$Q = 1800 + 4 \cdot 1100 = 6200 \text{ kg.}$$

На (чер. 3) дается эпюра Дессара. Из этой эпюры можно видеть, что напряжение $X Y$ вдоль длинной стороны рамы $= H_1 = \infty 1000$ кгр., а напряжение $A Y$ вдоль короткой стороны $= H_2 = \infty 650. \infty 700$.

Если подставить эти величины в формулу Эйлера, то найдем момент инерции поперечного сечения, а по этому моменту подберем и размеры и форму сечения.

Итак,

$$I_1 = \frac{k \cdot H_1 \cdot L_1^2}{n \cdot \pi^2 \cdot E} = \frac{20 \cdot 1000 \cdot 1200^2}{1 \cdot 10 \cdot 20000} = 143300.$$

Если остановиться на U — образном профиле, то подходящим профилем будет $65 \times 43,5 \times 7$, для которого

$$I_{\min} = 178250$$

Также точно найдется I_2 и соответствующий профель сечения.

II. Клеть подвешена на цепях и раме

Этот способ подвешивания не так благоприятен для конструирования легкой клетки, как первый, и к такому подвешиванию клетки прибегают только в том случае, когда по каким либо соображениям нельзя зацепить подвески за стойки. В этом случае рама будет подвергаться изгибу и сжатию с изгибом или сложному сжатию.

Расчет начинают с того, что определяют сечение на изгиб. Весьма часто оказывается, что вычисленное сечение будет удовлетворять и сложному сопротивлению. В противном случае приходится усиливать сечение. Рассчитываемый стержень или брусок рамы рассматривается как балка на двух опорах, за кон принимаются две ближайшие стойки.

Пусть момент изгиба в опасном сечении будет M kg. mtr. Полагая напряжение $R = 4 \text{ kg./mm.}^2$, получим основное y -ние

$$\frac{I}{Z} = \frac{M}{4}.$$

Пусть далее S кв. мм. будет сечение бруска. Находим графически по эпюре Дессара составляющую H .

Зная эту составляющую, определим дополнительное напряжение

$$R^1 = \frac{H}{S} \text{ kg./mm.}^2.$$

Общее максимальное напряжение будет представлять сумму $R + R^1$ и она не должна превышать 6 kg./mm.^2 .

Пример. Клеть имеет два этажа, а в каждом три вагонетки расположенные рядом. Рама клетки придана форма прямоугольника со срезанными

углами 2540×1400 мм., что вызывается круглой формой сечения шахты. Вдоль длинных стенок клетки располагаются три параллельные стойки. Направляющие размещены на коротких сторонах клетки. Клеть подвешивается на шести цепях, из коих две внутренние более короткие являются вспомогательными, так что раму подсчитывают для подвешивания на четырех цепях. За подвесные точки возьмем вершины прямоугольника 1750×1460 мм. Это значит, что точки подвеса выступают несколько за пределы главного контура клетки. На скрученных углах клетки располагаются четыре стойки, образующих четырехугольник с сечением 2200×1200 мм. Эти стойки являются опорными (чер. 4). Длина цепи 1500 мм.

Предположим вес клетки равным 2000 kg; вес шести вагонеток с грузом породы положим равным 6600 kg. Таким образом, общий вес клетки составит 8600 kg. При ширине колеи в 450 мм. получим наибольший изгибающий момент рамы в сечении $P_2 P_2^1$ равным

$$\frac{8600}{4} \cdot \frac{450}{2} = 483750 \text{ kg. mm.}$$

Полагая допускаемую нагрузку $R = 4 \text{ kg/mm.}^2$, получим

$$\frac{I}{Z} = \frac{483750}{4} = 120938.$$

В исключительных случаях, когда клеть будет висеть только на двух опасных цепях, опасный момент будет

$$M_1 = 2150 \times 1100 = \frac{8600}{4} \cdot \frac{2200}{2} = 2.365000.$$

Для таких исключительных случаев временного характера можно допустить нагрузку $R \leq 20 \text{ kg./mm.}^2$.

Если взять для рамы коробчатое железо, то легко подобрать размеры, зная момент сопротивления $W_x = 120938$. По германскому нормальному стандарту можно остановиться на профиле корытного железа N 18 с размерами $180 \times 70 \times 7$ мм., у которого $W_x = 150$ см.

Но можно взять две полосы того же коробчатого железа с сечением 200×8 мм.

Момент сопротивления для такого составного сечения вычислится по формуле

$$W_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} + \frac{b \cdot h_1^3}{6h_1} = \frac{60 \cdot 200^3 - 44 \cdot 183^3}{6 \cdot 200} + \frac{44 \cdot 16^3}{6 \cdot 16} = 153765 \text{ mm}^3.$$

Таким образом, в обычных условиях напряжение на 1 кв. мм. составит 3,15 kg., а в экстренном случае $\approx 15,4 \text{ kg/mm.}^2$.

Для подсчета дополнительного напряжения, вызываемого сжатием рамы, нужно пользоваться диаграммой Дессара (чер. 5). Строя эту диаграмму для рассматриваемого случая, получим $H_1 \approx 1500 \text{ kg}$. Это напряжение приходится на площадь сечения рамы, равной $200 \times 8 + 200 \times 8 + 44 \times 4 \times 8 = 4608$ кв. мм.

На один кв. мм. это дает

$$R_1 = \frac{1900}{4608} \approx 0,41 \text{ kg.}$$

Чтобы оказывать должное сопротивление этому воздействию, балка должна обладать минимальным моментом инерции, равным по формуле Эйлера.

$$I_{\min} = \frac{\kappa \cdot H L^2}{n \cdot \pi^2 E} = \frac{20 \cdot 1500 \cdot 2200^2}{1 \cdot \pi^2 \cdot 20000} = \infty 920.000.$$

Принятое же сечение для рамы обладает моментом инерции равным $\infty 8.500.000$. Общее напряжение балки рамы будет равно $3,15 + 0,32 = 3,47$ kg/mm², а в экстренном случае $= 15,4 + 0,32 = 15,72$ kg/mm².

III. Клеть сидит на кулаках.

Рассмотрим вопрос с точки зрения статики, т. е. предполагая отсутствие толчков, сотрясений, ударов.

Пример. Пусть имеется четырехэтажная клеть, вмещающая по одной вагонетке на этаже. Три нижних этажа имеют высоту по 1200 mm, а самый верхний 1750 mm. Длина клетки 1200 mm, а ширина 760 mm. На длинных стенках располжены три стойки. Диагоналей нет (чер. № 6). Разрежем клеть по плоскости симметрии, перпендикулярной к длинным сторонам рамы (чер. 7). Будем рассматривать половину рамы В А Д Д¹ А¹ В¹, как балку, опирающуюся в точках Д и Д¹, где располагаются кулаки, расстояние между которыми равно 640 миллиметрам.

Какой груз выдерживает эта балка? Прежде всего обратим внимание на пол клетки. Площадь его примерно составляет 1 кв. метр. Практика показывает, что один квадратный метр пола клетки составляет около 150 kg. На рассматриваемую половину рамы придется таким образом 75 kg. Пусть этот вес равномерно распределен по балке. Так как балка состоит из звена Д Д¹ = 640 миллиметров и двух боковин В Д и В¹ Д¹, из коих каждая имеет длину 750 mm., то общая длина балки будет = 2140 mm. Разделяя груз в 75 kg. пропорционально длинам отдельных частей балки, получим на грузку на боковину по 26 kg., а на среднюю часть 23 kg. Грузы в 26 kg. предположим приложенными в точках А и А¹ (чер. 8).

Более точно вес пола можно вычислить, когда имеется уже готовая конструкция рамы, поперечин, настила, рельс и т. д. Кроме собственного веса пола на раму передаются две равные силы от веса вагонетки с пустой породой. Так как емкость вагонетки принята в 6 гектолитров, то вес груженой вагонетки будет 1100 килограммов. Это вес передается на раму при помощи колес вагонетки при ширине пути в 450 миллиметров. Таким образом каждая сила равна 275 kg. Наконец, на раму будут действовать четыре равные силы, составленные из веса клетки, равного 1800 kg., да вес трех вагонеток 3300 kg. без уже рассмотренного веса пола нижнего этажа. Таким образом, каждая сила будет равна

$$\frac{1800 + 3300 - 150}{4} = 1238 \text{ kg.}$$

Две таких силы будут действовать на балку, представляющую половину рамы клетки. Эти силы приложатся в точках А и А¹, расстояние между которыми равно 760 mm.

Мы имеем здесь консольную балку, нагруженную симметрично сосредоточенными грузами, а между опорами несущую равномерно распределенную нагрузку, (чер. 8). Изгибающий момент от сосредоточенной нагрузки будет в опасном сечении.

$$M_x = 1264 \times 155 - 1550,5 \times 95 = 48622,5.$$

А от равномерно-распределенной нагрузки

$$M_x = \frac{23 \times 95^2}{640 \cdot 2} = \infty + 162,2.$$

Таким образом, суммарный момент изгиба будет около 48800 kg. мм. Если положить нагрузку на 1 кв. мм. равной 3 kg., то

$$\frac{1}{Z} = \frac{48800}{3} = 16266$$

Если взять стальную полосу корытного сечения $80 \times 47 \times 8$, то для нее

$$\frac{1}{Z} = 28834$$

В таком случае нагрузка на 1 кв. мм. будет

$$\frac{48800}{28834} = 1,69 \text{ kg/mm}^2$$

Если положить, что рама разрезана плоскостью симметрии $P_2 P_2^1$, то получим балку E D A B C E G, расположенную на двух опорах D и E, расстояние между которыми будет равно 1380 мм.

Рассмотрим те грузы, которые несет эта балка.

Опять здесь нужно учесть вес пола нижнего этажа, как равномерно распределенную нагрузку.

Деля половину веса пола (75 kg.) пропорционально длинам: 1380 и 320; получим нагрузку на длину D E приблизительно равной

$$\frac{75 \times 1380}{1380 + 640} = 51,2 \text{ kg.} \approx 52 \text{ kg.}$$

На долю балок D E и E G придется тогда поровну по 11,5 kg. Эти последние силы полагаем приложенными сосредоточенно в точках D и E (очер. 9).

Затем нужно взять половину веса груженой вагонетки (550 kg.) и положить, что этот вес действует сосредоточенно в тех же точках.

Наконец, нужно взять половину нагрузки, передаваемой на нижнюю раму через посредство стоек от верхних этажей. Это составит по прежнему 2475 kg.

Усилия, передаваемые стойками нижней раме, не равны между собой. Эти усилия существенно состоят из таких частей:

1). Собственного веса клетки, уменьшенного на вес нижнего пола. Это составляет $1800 - 150 = 1650 \text{ kg.}$ К угловым стойкам прикрепляются двери клетки с их принадлежностями. Если положить вес этих дверей 140 kg., то на каждую стойку придется нагрузка $(1650 - 140) : 6 = 251,6 \text{ kg.}$ Таким образом, средняя стойка будет передавать усилие 251,6 kg., а угловые стойки $251,6 + 35 = 286,6 \text{ kg.}$

2). Веса вагонеток, расположенных в трех верхних этажах, что составляет 3300 kg.

Пусть клеть разрезана плоскостью симметрии $P_2 P_2^1$, и пусть расстояние между соседними стойками будет 600 мм. В таком случае каждую половину рамы, длиною в 1380 мм., можно рассматривать, как балку на трех опорах. Угловые точки стоек будут нести нагрузку, равную четверти веса вагонетки, т. е. 275 kg. Реакции в точках опор будут равны по величине и противоположны по знаку искомым составляющим.

Чтобы не усложнить выводов, воспользуемся определением реакций в точках A, B и C при помощи формул сопротивления материалов (см. Кирпичев. Сопротивление материалов часть II 1923 г. стр. 218 — 219).

$$Y_1 + 2 Y = 2 P$$

$$Y = \frac{3}{2} \frac{P l^2 (1 - \frac{1}{3} l_1)}{l^3}$$

Подставляя в эти формулы числовые величины, получит

$$Y_1 + 2Y = 573 \text{ kg.}$$

$$Y = \frac{3}{2} \cdot \frac{236,5 \cdot 690^2 \cdot (600 - 230)}{600^3} = \infty 350$$

В таком случае $Y_1 = -127$. Реакции в точках А, В и С будут

$$R_A = R_C = -350 \text{ и } R_B = +127$$

Небольшая разница получится, если вообще пренебречь собственным весом рамы. Тогда пришлось бы в формулу для Y ввести вместо 286,5 груза в 275 кг.

В таком случае реакции будут

$$R_A = R_C = -337 \text{ kg. и } R_B = 124 \text{ kg.}$$

Принимая во внимание, что нужно ввести в расчеты три вагончика, расположенные в трех верхних этажах, получим нагрузки.

$$-3R_A = -3R_C = +1011 \text{ и } -3R_B = -372$$

Следовательно, нагрузки, передаваемые на отдельные стойки, будут

$$286,6 + 1011 = 1297,6$$

$$251,6 - 372 = -120,4$$

Изгибающий момент в опасном сечении балки будет равен $\infty 85000$.

Если по прежнему припять нагрузку на 1 кв. мм. в 4 кг., то

$$\frac{1}{Z} = \frac{85000}{4} = \infty 21250$$

Так как для балки взято коробчатое железо с профилем $80 \times 47 \times 8$, то действительная нагрузка будет

$$\frac{85000}{28834} = \infty 2,95 \text{ kg/mm}^2.$$

Если бы боковина клетки имела не три стойки, а две, то изгибающий момент в опасном месте был бы около 120.000 т. е. более примерно на 41%. Положим, что стойки расположены не в одной плоскости (чер 10). Такой случай представляет конструкция клетки на руднике Вией—Марие.

Разрежим раму клетки плоскостью $P_1 P_1'$ и заменим кривую балку (раму) балкой прямой, представляющей проекцию рамы на плоскость наибольшего изгибающего момента, который для данного случая равняется $\infty 634.000 \text{ kg mm}$.

Можно взять в этом случае составную балку из коробчатого железа с профилем $100 \times 52 \times 8$. Две наших балки связать полосовым железом 200×8 . Для увеличения прочности балки укрепим нижние полки корытного железа четырьмя пластинами $200 \times 160 \times 8$, расположенными под нижними рельсами.

Если разрезать ту же раму по плоскости $P_2 P_2'$, то изгибающий момент в опасном сечении будет $= \infty - 150.000 \text{ kg. mm}$. В этом случае можно ограничиться балкой с сечением $100 \times 52 \times 8$.

Так как в действительности рама представляет одно целое, то оба момента будут меньше вычисленных.

Для изготовления рамы берется прокатная мягкая сталь с сопротивлением разрыву 44 kg/mm^2 и 20% удлинения.

Для изготовления рамы клетки на руднике Флемаль бралась полоса копытного железа с профилем $80 \times 47 \times 8 \text{ mm}$ и длиной в 4,32 метра. Этой полосе придавалась форма прямоугольника с размерами $1380 \times 760 \text{ mm}$. Для этого нагревают полосу и в горячем состоянии подвергают ударам молота при посредстве оправок. Потом проверяют, насколько рама сохранила плоскость, точны ли у нее прямые углы и размеры длины и ширины. Свободные концы такой согнутой рамы должны быть почти что в притык. Эти концы очищают ото всего, что может мешать сварке. Оба конца рамы нагревают на большом огне, а на соседнем горне готовят из железа лучшего качества клиновую пластину. Когда концы балки и клин доведены до белого каления, переносят быстро раму на наковальню и крепкими ударами молота вгоняют клиноводную пластину в место стыка, сначала вдоль шейки, а потом и вдоль плеча. Вся сварка производится в три приема. Если кулаки располагаются под короткой стороной рамы, то сварку производят на длинной стороне, несмотря на то, что эта сторона подвергается наибольшему изгибу. Делается это в тех соображениях, что опасными являются для балки нагрузки в виде ударов и толчков, а не нагрузки постоянного характера.

В настоящее время сварка и более сложного вида очень удобно и успешно выполняется при помощи пламени газовых горелок (так называемая автогенная сварка).

Для связи рам между собою служат стенки клеток, форма или конструкция которых зависит главным образом от трех обстоятельств: 1) расположения проводников (проводники могут располагаться с одного или с двух боков); 2) от способа подвешивания клетки и степени наклонности ствола шахты. Подходя к вопросу о подвешивании клетки, нужно отметить, что наиболее простым и желательным подвешиванием нужно признать такое, в котором цепь направлена по оси клетки. В этом случае работа сил трения в шахте сведется к минимуму. Такого рода подвешивание в направлении центра тяжести клетки или вернее проходящее через центр тяжести клетки можно назвать осевым — центральным. Достаточно воспользоваться для этого одной цепью, проходящей через центр верхней рамы, при пользовании клетью для спуска и подъема людей ради предосторожности нужно еще присоединить две симметрично расположенные цепи. Этот способ подвешивания и применяется в вертикальных шахтах. При шахтах наклонных этот способ не применим. Здесь применяют четыре, шесть и даже более цепей. Помимо этого тут иногда является необходимость делать остов клетки не жестким.

3). От числа вагонеток, расположенных рядом, иначе говоря, от ширины стенки. Пусть стенки клетки составлены помимо сторон рам из двух параллельных стоек, но без диагоналей.

Такая упрощенная конструкция применима естественно в том случае, если стенка клетки имеет небольшую ширину.

Способ подвешивания выберем на четырех цепях, хотя можно применить и другие конструкции. Если ствол шахты располагается наклонно, то необходимости в диагоналях у стенок нет, так как при диагоналях неизбежны уголки для соединения с рамами и стойками, а это в свою очередь вызывает излишнюю грузность клетки и ее жесткость. Если далее принять во внимание, что диагонали подвергаются незначительным усилиям и служат для поддержания обшивки стенок клетки, то смело можно их заменить коробчатым железом с небольшим поперечным сечением (чер. 11). Такая система стенок удобна для всякого рода проводников, но не так способна выдерживать большие изгибающие моменты.

Применим эти общие соображения к клетке на руднике Флемалль.

Пусть клетка находится в подвешенном состоянии. Какова бы ни была система подвешивания клетки к цепям (за стойки или за раму), стойки всегда подвергаются одному и тому же растяжению, составляющему приблизительно четверть общей нагрузки Q . При расположении клетки на кулаках, наиболее неблагоприятным для сопротивления клетки действующим на нее силам будет случай, когда кулаки подхватывают нижний полук.

В этих условиях стойки подвергаются продольному изгибу под действием силы $DG = F \text{ kg.}$, даваемой диаграммой Дессара.

При применении к этому случаю формулы Эйлера, можно рассматривать каждую стойку между двумя соседними полками, как балку, опирающуюся двумя концами.

По диаграмме Дессара легко получим действующую силу $F = \infty 1600 \text{ kg.}$ А тогда.

$$I = \frac{k F \cdot L^2}{\pi \cdot \pi^2 E} = \frac{20 \cdot 1600 \cdot 1200^2}{1 \cdot 10 \cdot 20000} = \infty 225.000$$

Такому моменту инерции вполне удовлетворяет корытное железо с профилем $80 \times 47 \times 8$, вес которого на погонный метр равен 10,11 kg. Можно дополнить стенки диагоналями такого же корытного железа с профилем $50 \times 25 \times 6$ с весом погонного метра 4,14 kg. или же стойками корытного железа с профилем $60 \times 30 \times 6$ с весом погонного метра 5,10 kg.

После этого легко найти приблизительный вес, не принимая во внимание веса узловых связных листов и веса заклепок.

4 стойки длиной 5 mt $\times$ 10,11 kg.	202 kg.
16 диагоналей длиной 1,7 mt $\times$ 4,14 kg.	103
или 4 стойки длиной 4,8 mt $\times$ 5,10 kg.	

Итого 305 kg.

Иногда применяются стойки не вертикальные, а наклонные или сходящиеся в одной точке. Такой тип стенок клеток применяется в том случае, когда клетка небольшой высоты, имеет один этаж и предназначена, напр., для обслуживания углубки, откачивания. Здесь удобно применить центральную подвеску клетки. Направляющие здесь можно поместить либо сбоку, либо лобовые.

Подобного рода клетка была построена в Бельгии для углубления шахты с большим притоком воды. Клетка была одноэтажная и весила всего 195 kg., несмотря на то, что рассчитана она была с большим запасом прочности.

Переходя к клеткам многоэтажным, нужно заметить, что применение стоек, сходящихся в одной точке, тут имеет свои невыгодные стороны.

Многоэтажные клетки, как длинные поезда, не так гибки в ходу, их оснащение вспомогательными приспособлениями обычно сложно, тяжело, а все это вызывает в отдельных частях клетки дополнительные напряжения, не настолько незначительные, чтобы можно было ими пренебречь.

В особенности трудно соединить в одно целое нижнюю площадку с верхним покровом клетки, так чтобы тяжелая крыша клетки не вызвала значительного изгиба в верхней раме.

Предположим, что рамы клетки прикреплены к узлам стоек, сходящихся в одной точке. Таким образом, стойки эти принимают на себя большую часть груза клетки, а вертикальные стойки являются в достаточной мере разгруженными.

Пусть клетка подвешена к канату. Схема клетки дана (на чер. 12). Клетка весит 1800 kg. и 4 вагонетки весят с грузом 4400 gk. Таким образом, полный вес клетки составляет 6200 kg. Распределим этот груз в точках скрепления рам с наклонными стойками. Таких точек будет шестьдесят, так что в каждой точке сосредоточена будет нагрузка $6200 : 16 = 388 \text{ kg.}$ Если начер-

чена в масштабе схема клетки, а это сделать не трудно, зная размеры вагонетки, то становится известным направление наклонных стоек, а значит, и угол около точки А ($< HAJ$).

Проектируя силу, приложенную в каждом узле на направление наклонной стойки, получим силу, действующую вдоль стойки.

Напряжения в горизонтальных брусках и в наклонных стойках нанесены (на чер. 12) справа и сверху каждого бруска.

Итак, можно написать такую таблицу.

Брусок.	Н F	F Д	Д В	В А	Н J	F G	Д Е	В С
Напряжение . . .	+ 390	+ 790	+ 1180	+ 1570	— 60	— 60	— 60	— 60

Пусть клеть посажена кулаки и вполне нагружена. Тогда в точках Н и J возникают реакции такие же, как и для клетки без наклонных стоек. Они вычислены были ранее и каждая реакция равнялась 1238 kg. В точках В, С, Д и Е будут сосредоточенные грузы и каждый равен 388 kg. Что касается точек F и G, то в них будут действовать те же силы по 388 kg., а кроме того стойки несут часть груза нижней площадки, и именно ту часть, которая непосредственно рамой не воспринимается. Таким образом, рама несет вес вагонетки в 1100 kg. плюс свой собственный вес, составляющий 150 kg., что составляет 1250 kg. Для стоек остается $\frac{6600}{4} - 1250 = 300$ kg., а на каж-

дую стойку 75 kg. Эти 75 kg. и распределяются по длине F G и G H. Наиболее неблагоприятный случай для расчета будет тот, когда груз в 75 kg. будет сосредоточен в узлах F и G. Таким образом, сосредоточенная нагрузка в каждом из узлов F и G будет равна 463 килограмма.

Теперь уже можно составить таблицу напряжений в стержнях. Эти напряжения выписаны (на чер. 12) слева и внизу каждого стержня.

Брусок.	Н F	F Д	Д В	В А	Н J	F G	Д Е	В С
Напряжение . . .	— 1250	— 795	— 400	0	— 185	— 65	— 60	— 60

Наибольшему воздействию подвергаются бруски Н F и J G. Выбирая для этих стержней U — образное железо с сечением $80 \times 45 \times 6$, вполне обеспечиваем сопротивление, так как $J_{\min} = 194000$, а сечение $= 1100 \text{ mm}^2$. Вес погонного метра этого железа будет 8,6 kg.

Следует отдельно сказать несколько слов по вопросу о стойках верхней части клетки.

Для этих стоек выбрано то же самое сортовое железо, что и для стоек H A и J A т. е. $80 \times 45 \times 6$, несмотря на то, что и в повешенном состоянии клетки и при нахождении клетки на кулаках вертикальные стойки как бы разгружены от усилий. У этих стоек имеется своя определенная задача: воспринимать толчки при посадки на кулаки.

Что касается диагоналей, то они теоретически бесполезны, но практически необходимы для большой жесткости стоек клетки. Их размер в поперечном сечении берется меньше, чем у наклонных стоек, но такой, чтобы можно было выполнить работу клепки. Можно по этому остановиться на профиле $40 \times 40 \times 5$ с весом погонного метра в 3 kg.

Для горизонтальных брусев профиль подсчитан ранее и его придерживаются и для коротких сторон и для длинных сторон рамы т. е. $80 \times 47 \times 8$.

Итак, можно теперь подсчитать вес нашей клетки

$$\begin{aligned} 4 \text{ стойки длиной по } 5 \text{ mtr} \times 8,6 \text{ kg.} &= \dots\dots\dots 172 \text{ kg.} \\ 4 \text{ стойки длиной по } 4,8 \times 8,6 \text{ kg.} &= \dots\dots\dots 165 \text{ »} \\ \text{Диагонали длиной } 11,4 \text{ mtr} \times 3 \text{ kg} &= \dots\dots\dots 35 \text{ »} \end{aligned}$$

$$\text{Итого} \dots\dots\dots 372 \text{ kg.}$$

Можно несколько изменить вид или конструкцию клетки, сохранив стойки наклонными, но не давая им возможности сходиться на протяжении высоты клетки в одну точку. Это будет только вариация прежней конструкции. Предположим, напр., что концы наклонных стоек образуют на уровне точки А (черт. 12) квадрат. За выступающие концы этих наклонных стоек можно подвесить клеть. Такого рода клеть устроена на шахте Дальбуш. Она вмещает четыре вагонетки, расположенных по две в одном этаже одна за другой.

(См. Die Entwicklung des Niederrheinisch Westfälischen Steinkohlen Bergbaues, Bd. V. S. 302 Fig 210). Уклонение точек подвеса клетки в сторону от линии симметрии (вертикальной) вызывает необходимость усилить профиль наклонных стоек. Если напр., точки подвеса образуют квадрат со стороной 600 mm, то, составляя эскиз подвеса, не трудно будет подсчитать из чисто геометрических соображений новый профиль наклонной стойки. Выберем профиль железа (корытного) $80 \times 47 \times 8$ с весом погонного метра 10,11 kg.

Что касается стоек вертикальных, то их профиль можно уменьшить, ибо наклонные стойки будут теперь воспринимать более значительную долю нагрузки от сотрясений и толчков. Для вертикальных стоек можно взять профиль корытного железа с размером $50 \times 25 \times 6$ с весом погонного метра 4,14 kg. (чер. 13).

Для большой жесткости корпуса клетки, можно поставить диагонали, если направляющие помещены с боку; если же направляющие помещены фронтально, то лучше заменить диагонали сплошным осевым брусом, как это и сделано на эскизе (чер. 13). Для этого бруса можно взять корытное железо с тем же профилем, что и у вертикальных стоек, т. е. $50 \times 25 \times 6$ с весом погонного метра 4,14 kg.

В таком случае основной вес каркаса клетки будет такой.

$$\begin{aligned} 4 \text{ стойки наклонных длиной по } 5 \text{ mtr} \times 10,11 \text{ kg.} &\dots\dots\dots 202 \text{ kg.} \\ 6 \text{ вертикальных брусков длиной по } 4,8 \text{ mtr} \times 4,14 &\dots\dots\dots 120 \text{ »} \end{aligned}$$

$$\text{Итого} \dots\dots\dots 322 \text{ kg.}$$

Разберем еще случай, когда стенка клетки имеет осевую стойку и диагонали.

Этот тип клетки очень удобен для осуществления всех систем направляющих, и устройства центрального подвешивания клетки. Клеть выходит достаточно прочными и эластичными, так как вся дополнительная арматура клетки располагается вдоль оси стойки. Угловые стойки играют только второстепенную роль и теоретически являются излишними.

Пусть опять клеть подвешена на канате, и весит она 6200 kg. Клеть имеет четыре этажа, как это видно на схеме (черт. 14). В точке А будет действовать сила, равная половине веса груженной клетки т. е. 3100 kg. Распределим эту силу равномерно по узлам, расположенным не только по внешнему контуру (В, Е, Н, К, М, J, G и Д), но и на внутренние узлы (С, F, J и L). Тогда в каждом из этих двенадцати узлов будет действовать сила $3100 : 12 = 258$. Все эти силы будут действовать вертикально вниз, а так как вся система находится в равновесии, то в точке А должна быть приложена сила, равная по величине сумме угловых сил, но направленная вертикально вверх. Эта сила будет представлять сопротивление каната.

Обозначим напряжение стержня А В через a , напряжение стержня А С через b , у стержня В С через d и т. д., как это изображено (на черт. 14). Затем где-нибудь на стороне проведем вертикаль (на чертеж. справа от черт. 14) от точки 1 и нанесем на ней в каком либо масштабе усилия, действующие в узлах. Тогда получим двенадцать отрезков, дающих в сумме 3100 kg. Если через конец первого отрезка провести горизонталь (параллельно В С), а через точку 1 линию, параллельную А В, то получим заткнутый треугольник, стороны которого на чертеже обозначены через a , d и 2.

Через точку пересечения a и d проводим вертикаль, а через точку О линию, параллельную стержню А Д. Тогда получим равнобокую трапецию, у которой нижним основанием будет линия 1—О, а боками линия a и c . Верхнее меньшее основание будет представлять в принятом масштабе напряжение стержня А С, обозначенное через $b = 2584$ или округленно 2600 kg.

В точке А сходятся четыре силы. На диаграмме справа эти силы образуют замкнутый четырехугольник. В точке В сходятся три силы. На диаграмме справа эти силы образуют замкнутый треугольник и т. д. Все напряжения выписаны над каждым стержнем, с соответствующим знаком, показывающим растяжение или сжатие бруска.

Пусть клеть посажена на кулаки, расположенные под нижним полом клетки.

Опять распределяем половину веса клетки на двенадцать узлов, как это показано (на черт. 15). Диагонали, которые всегда растянуты, и горизонтальные бруски подвергаются тем же напряжениям, которые найдены были при подвешивании клетки на канате. Что касается центральной стойки, то она испытывает иное напряжение.

В узле 1 будет действовать сила $3100 - 258 = 2842$ или округленно 2840 kg. Этому усилию подвергается стержень $г$ (сжатый стержень). На брус 1 будет действовать сжимающая сила $2840 - 3 \cdot 260 = 2060$ на брус $г$ будет действовать сила $2060 - 258 \cdot 4 = 1028 \approx 1030$ kg.

На брус $в$ придется сжимающее усилие 515 kg.

Применяя метод Риттера, рассечения решетчатой системы на части, получаем тот же результат. Так как центральная стойка подвергается во втором случае (клеть сидит на кулаках) большему воздействию, равному 2840 kg, то на него и нужно вести расчет поперечного сечения.

По формуле Эйлера напишем.

$$I_{\min} = \frac{20 \cdot 2840 \times 1200^2}{1 \cdot \pi^2 \cdot 20000} = 414.370.$$

Если взять корытное железо с профилем $120 \times 55 \times 7$, то у него минимальный момент инерции будет

$$I_{\min} = 432.000$$

Сечение этого железа составляет 1504 mm.². Вес погонного метра 13,3 kg.

Если теперь допустить нагрузку на кв. миллиметр диагоналей в 3 kg, то сечение диагоналей будет

$$300 : 3 = 100 \text{ кв. мм.}$$

Из чисто конструктивных и сборочных соображений приходится брать корытное железо с профилем $50 \times 25 \times 6$, у которого площадь сечения равна 528 mm.², а вес погонного метра 4,14 kg.

Для рамы берем корытное железо с профилем $80 \times 47 \times 8$. Роль внешних стоек сводится к тому, чтобы поддерживать дополнительные части клетки, как напр., двери и т. д. Для этих стоек берется то же самое корытное железо, что взято для диагоналей, т. е. с профилем $50 \times 25 \times 6$.

Таким образом, стенки без рам, дадут такой вес:

2 осевых стойки длиной по 5 метров	$\times 13,3 =$	133 kg.
4 угловых стойки длиной по 4,8	$\times 4,14 =$	80 »
16 диагоналей по 1,3 метра	$\times 4,14 =$	86 »

И т о г о 299 kg.

Особого внимания заслуживает по простоте своей конструкции, прочности и легкости клеть, изображенная (на черт. 6—7) (вид сбоку, с фронта и с плана). Эта конструкция имеет параллельные стойки но не имеет диагоналей. Клеть можно повесить либо на четырех цепях, либо на шести, либо на двух. При этой конструкции можно применить любой тип направляющих. В глубоких шахтах вертикального типа, когда клеть имеет большие размеры, ставят для большей жесткости конструкции диагонали. При шахтах наклонных диагоналей не ставят. Не ставят диагоналей и тогда, когда в каждом этаже устанавливается только одна вагонетка, хотя бы клеть и была многоэтажной.

Наличие осевой стойки в значительной степени уменьшает притягивание рамы. Таким образом, когда на каждом этаже помещена только одна вагонетка, нет надобности укладывать под рельсами поперечных балок.

Если этаж клетки способен вместить две вагонетки, расположенных одна за другой, по поперечную балку под рельсы устанавливают как раз в плоскости средних стоек.

Пусть клеть повешена на канате за концы четырех внешних стоек. Если вес клетки по прежнему будет 6200 kg, то каждая стойка подвергается силе в 1550 kg. Когда клеть приработается, можно заменить систему подвешивания клетки на четырех цепях центральным подвешиванием за концы двух осевых стоек, а прежнюю систему оставить как запасную. Нагрузку каждой центральной стойки составит 3100 kg.

Если клеть сидит на кулаках. Для такого случая найдены были такие напряжения: внешние стойки сжаты усилием 1298 kg., а средняя стойка подвергается растяжению силой в 120 kg.

Выбор профиля для стоек не представляет труда.

Возьмем внешние стойки. Для них можно воспользоваться формулой Эйлера и определить таким образом минимальный момент инерции.

$$I_{\min} = \frac{20 \times 1298 \times 1200^2}{1 \cdot \pi^2 \cdot 20.000} = 189389$$

Если взять корытное железо с профилем $80 \times 47 \times 8$, то для него $I_{\min} = 255079$ т. е. вполне достаточен. Вес погонного метра такого железа составляет 10,11 kg.

Для выбора профиля осевых стоек положим нагрузку в 3 kg. на кв. мм. Так как наибольшее воздействие, которому подвергается эта стойка, составляет 3100 kg то площадь поперечного сечения должна быть $3100 : 3 = 1033$ кв. мм. Если взять корытное железо с профилем $80 \times 45 \times 6$, то у него площадь поперечного сечения будет 1100 кв. мм., а вес погонного метра составляет 8,6 kg.

Таким образом, основной вес стоек складывается из

4 стоек по 5 mtr	$\times 10,11 \text{ kg} =$	202 kg.
2 стоек по 5 mtr	$\times 8,6 \text{ kg} =$	86

Итого 288 kg.

Чрезвычайно важной стороной в конструкции клетей является установка стоек. В самом деле, эти части подвергаются большим сжимающим усилиям не только статического характера, но и динамического. Помимо этого, стойки подвергаются продольному изгибу.

Большинство клеток на руднике Флемаль были сделаны из полосового железа. И вот на стойках этих клеток очень ярко проявлены были следы деформаций. В плоскости наиболее слабого сопротивления стоек продольному изгибу совершенно отчетливо можно было видеть синусоидальную форму изгиба.

Кроме этого, во время работы связь между стойками и рамой постоянно ослаблялась, так что приходилось часто производить подтяжку ослабевших связей.

Связь стоек клетки с рамой производится либо болтовым соединением, либо заклепочным. В обоих случаях тут надобно применять скрепляющие части таких размеров, чтобы их поперечное сечение оказывало должное сопротивление срезыванию.

Наибольшая срезающая сила является в данном случае в виде реакции клетки на стойку, когда клетка посажена на кулаки. Для клетки с вертикальными стойками без диагоналей эта реакция была равна 1297,6 kg. мм. или 1298 kg. Если допустить на квадратный миллиметр нагрузку в 2,4 kg. то необходимое сечение, сопротивляющееся срезавшим силам, будет.

$$1298 : 2,4 = 541 \text{ кв. мм.}$$

Соединение заклепками произведено так, как показано на чер. 16. Одна заклепка, помещенная в центре, имеет диаметр, в 20 мм. и соединяет прямо стойку с рамой. Четыре заклепки с диаметром в 16 мм. предназначены для соединения скобы, охватывающей раму, со стойкой. Площадь срезывания таким образом будет равна ≈ 1110 кв. мм.

$$\Omega = \frac{\pi}{4} (20^2 + 4 \times 16^2) = \approx 1110 \text{ кв. мм.}$$

Наружные стойки изгибаются у нижней рамы так, что составляют опорную поверхность для рамы.

Что касается верхней рамы, то она не испытывает резких толчков при посадке рамы на кулаки. Только при спуске материала большой длины: деревянные бруски, рельсы эта рама испытывает небольшое сравнительно давление от этого груза, помещаемого на крыше клетки, привязанного к канату. Для скрепления рамы со стойками здесь берутся заклепки диаметром в 18 мм, и числом 2; сохраняется диаметр в 20 миллиметров только у центральной части скрепления.

Срезающая сила у центральной стойки равна 120 килограммам. Здесь было бы достаточно поместить одну заклепку диаметром в 20 миллиметров, но скрепление тут производится аналогично с соседними скреплениями.

Итак, мы имеем

30 заклепок диаметром в 20 миллиметров.

12 заклепок диаметром в 18 миллиметров.

84 заклепки диаметром в 16 миллиметров.

Вес. заклепок . . . 15 kg.

30 накладок весом 70 kg.

А всего . . 85 kg.

Для хорошей сборки клетки необходимо озаботиться устройством процесса хорошего клепания. Не рекомендуется пробивать отверстий для заклепок, а высверливать: не пользоваться заклепками большей длины, иначе не достигнуть прочного заклепывания. Отверстия высверливают на один миллиметр меньшего диаметра, чем стержень заклепки. Когда части клетки готовы к сборке, точно размечены и пригнаны, то предварительную сборку частей производят при помощи болтов, помещая основание клетки на прочной площадке, установленной по уровню. При помощи отвеса проверяют положения вертикальных

стоек, а уровнем контролируют параллельность горизонтальных площадок прикрепленных к стойкам.

Когда все это сделано, отверстия для заклепок досверливают на чистоту на месте до точного диаметра, при этом исправляются не точности центрирования заклепок.

Так как стойки располагаются на периферии рам, то скрепление их с последними удобно произвести коваными подкосами $80 \times 80 \times 8$, для чего берется самая лучшая литая сталь. Эти подкосы обращены внутренним углом в глубь клетки, горизонтальной полкой стоят на верхней полке рамы а вертикальной полкой прилегают к наиболее широкой стороне стойки, спинка к спинке. Сделав описание наиболее главных частей клетки с конструктивной точки зрения, показав, как можно эти части приблизительно подсчитать с точки зрения статике, положив в основу гипотезу распределения статических сил по узлам, нужно теперь показать, как завершить постройку клетки и в каких дополнениях эта клеть нуждается, для того, чтобы можно было пустить эту клеть в работу.

К числу таких дополнений или аксессуаров нужно отнести такие части:

1. Листовое железо для полков.
2. Рельсы для вагонеток.
3. Задержки для предупреждения катания вагонеток в клеть.
4. Рельсы.
5. Двери.
6. Отделку.
7. Опорные поверхности клетки для досадки ее на кулаки.
8. Пропушины для подвешивания клетки.
9. Направляющие скобы.
10. Парашюты.

Все эти дополнительные части являются необходимыми для завершения постройки клетки, и отсутствие каждой из них отразилось бы на работе клетки и удобства пользования ею, а также и на долговечности ее службы.

Вопросу о парашютах предполагается посвятить отдельную статью, а поэтому займемся только остальными частями.

Полки у клетки устраиваются из листовой рифленой стали толщиной в 6 мм. и весом квадратного метра около 42 килограммов. Такая сталь является вполне достаточной для сопротивления нагрузке клетки и служит столько же, сколько и сама клеть. Крыша клетки обычно делается в виде свода с небольшой стрелкой, а для жесткости к листам свода прикрепляют тонкие и высокие уголки, располагаемые по краям крыши. Если на крыше предполагается делать спуск материала, то ее покрывают пластинами плоского алойного каната, что в значительной мере защищает клеть от сотрясения при нагрузке материалов. Такая алойная покрывка удобна еще и для помещения рабочего персонала, когда производится на тихом ходу осмотр ствола шахты.

Листы площадок скрепляются с рамой клетки либо наглухо, либо их вставляют в пазы. Такого рода выдвигаемые полки являются необходимыми при спуске высоких и длинных предметов, не помещающихся в одном этаже.

В качестве рельс для удобного вкатывания вагонеток в клеть могут служить рельсы рудничного типа, угловое или квадратное железо. Если вагонетка одна помещается в этаже, то рельс можно рассматривать, как балку покоящуюся на двух опорах и с закрепленными концами. Вполне достаточным профилем является, напр. $75 \times 50 \times 14$ мм. Во всяком случае подсчитать такую балку не представляет никакого труда.

Если в этаже помещается две вагонетки, расположенные одна за другой, если смотреть на них с места вкатывания, тогда приходится посередине клетки, перпендикулярно к направлению пути, укладывать поперечную балку. В таком

случае каждый рельс должно рассматривать, как балку на трех опорах и при расчете ее пользоваться формулой Кляпейрона.

Расчет таких балок имеется в моей статье о балке на трех опорах и ее приложении к решению практических задач.

Переходя к вопросу об установке в клетки приспособленной для удерживания вагонеток на поставленном месте, нужно заметить, что неподвижность вагонеток в клетке во время хода благоприятно отражается и на целостности клетки и на прочности рабочего каната. Массивная вагонетка, не удерживаемая ничем на месте, может легко покатиться в бок, выпучить сравнительно легко устраиваемую дверь и тем заклинить клетку; если проводнику устроены на фронте клетки, при таком ударе они могут пострадать. Но всякие приспособления для задерживания вагонеток на месте должны так конструироваться, чтобы, выполняя отчетливо и надежно свою роль, они ни в каком случае не вызывали задержки в работе клетки, не служили препятствием при спуске рабочих. Различают затворы, ручные, ножные и автоматические. По конструкции же затворов их можно разделить на такие два класса: затворы со скобами и затворы с задвижками (бугельная система и ригельная система). Понятие об этих затворах можно получить из схематических чертежей, помещенных в коллективном труде, выходящем под редакцией Н. Bansen'а и К. Teiwes'а под названием «Die Bergwerks-Maschinen» (издание Springer Berlin). На черт. 17 дана конструкция затвора ригельного типа. Здесь имеется поворотный рычажок а, вращающийся около точки О и одним концом входящий в отверстие, пробитое в стержне б. Стержень б направляется в своем движении подшипниками с—с. На левом конце стержня б имеется головка д, свободно входящая в прорез углового железа, служащего рельсом в клетке. Плоская головка д выступает значительно над вертикальной стенкой уголка и, таким образом, служит препоной для перекатывания вагонных колес. Ударяя ногой в длинное плечо рычага, достигают перемещения головки д стержня в ту или другую сторону. Уголок с кривым очертанием вертикальной стенки служит задержкой для перемещения рычажка а по часовой стрелке.

При интенсивной работе выдачи полезного ископаемого применяются более сложные системы вкатывания и выкатывания вагонеток чисто автоматического характера, а полки у клеток делаются наклонными. Для ускорения спуска и подъема рабочих можно было бы с удобством пользоваться готовыми платформами, при помощи которых за один раз может подаваться партия рабочих, способных втиснуться в клетку. Разгрузку клетки можно было производить попеременно то с одной стороны то, с другой. Таковой же должна быть и посадка рабочего персонала.

Для устройства дверки применяется либо сетка, либо листовая сталь в 4 мм. толщиной. Двери ни в каком случае не должны стеснять рабочую площадь пола клетки. При применении дверей из листовой стали на листах высверливаются отверстия диаметром в 20 мм. Таким образом, клетка является открытой для воздуха.

Листовая же сталь в 3 мм. толщиной применяется и для облицовки остальных сторон клетки. И в этой облицовке просверливаются отверстия диаметром в 20 мм. для доступа воздуха и для облегчения веса клетки. Расстояние между центрами отверстий делается равным 30 мм. Вес таких листов уменьшается примерно на половину.

Для предохранения той части рамы, которая непосредственно соприкасается с канатами, от неизбежного износа, к раме приклепываются куски из углового железа. Не бесполезно было бы применить прокладку между рамой и этим уголком из таких материалов, как каучук, кожа. Удары при посадке клетки в значительной мере оказались бы заглушенными. Чер. 18 показывает часть торчащего справа кулака и угол клетки в той части, в которой она садится на кулаки. Очень ответственной частью клетки являются места, кото-

рыми клеть подвешивается к подвесным цепям. В концах стоек высверливаются отверстия, через которые должны быть пропущены штырь или болт, служащий для соединения гибкой части подвеса с клетью. Для предохранения этого места стоек от скорого изнашивания в этих местах применяют массивные литые или кованные накладки с уширенной головкой, такой же толщины, как внутренняя высота стенки коробчатого железа. От круглой головки со срезанными вертикальными боками идет вниз сходящая почти на нет хвостовая часть накладки. Для скрепления накладки, показанной в разрезе справа около черт. 6 служат 4 заклепки меньшего диаметра в 18 мм. и одна заклепка в 20 мм. диаметром. Штырь накладки рассчитывается на срез с большим запасом прочности.

Направляющие клетки имеют более или менее установившиеся размеры, определяемые отчасти размерами охватываемого ими проводника и условием надежного скрепления их при помощи заклепки с рамой клетки. Непременным условием целесообразной конструкции таких направляющих является отсутствие выступов, при помощи которых эти направляющие могли бы врезаться в тело проводника, будет ли он деревянным или металлическим. На черт. 19 показаны такие направляющие, применяемые на бельгийских шахтах.

Что может дать в результате целесообразная конструкция клетки, каждой части которой уделено проектирующим рациональное внимание т. е. расчет, принимая во внимание все невыгодные условия работы, это можно видеть из нижеследующего.

Если положить, что нормальный вес угля, помещающегося в рудничной вагонетке будет $N = 550 \text{ kg.}$ если Q в kg. будет клетки, то, по данным, имеющимся в обширной монографии о вестфальской каменноугольной промышленности, можно составить такую таблицу.

О Б О З Н А Ч Е Н И Я.			Q.	$\frac{Q}{N} \%$
К л е т ь.		Ш а х т а.		
Одна вагонетка.	Средний вес.	—	650	118
Две вагонетки.	» »	—	2000	181
» »	Более легкая.	Мюллер-Селлербек	1400	127
4 вагонетки.	Общий средний.	—	3000	136
2 вагонетки рядом.	Средний.	—	2600	117
» »	Более легкой.	Дальбун III, Нормен I.	2000	91
2 вагонетки одна за одной.	—	Константин II.	2250	102
» »	Самый тяжелый.	Принц регент.	3250	140
4 этажа.	Более легкий.	Цольферен III.	2390	105
» »	Более тяжелой.	Кайзертул.	3658	166
6 вагонеток.	Более легкой.	Вильгельм Викторин I.	3500	106
» »	Более тяжелой.	Дейтшер Кайзер.	5610	170
8 вагонеток.	Более легкой.	Консолидацион.	3980	90
» »	Средний.	—	4500	102
» »	Более тяжелый.	Шлегель и Эйзен.	6050	152
» »	» »	—	—	—
1 вагонетка.	По Дессару.	Мариа.	195	36
4 вагонетки.	—	—	1440	66
4 вагонетки.	—	—	1640	75

Примерно двадцать лет прошло со времени появления коллективного труда немецких инженеров о вестфальской каменноугольной промышленности. Интересно по этому взять более свежие данные о весе построенных клетей немецкими машиностроительными заводами и сравнить с прежними данными.

Бену более поздние сведения завода «Maschinen-fabrik Tigler (Duisburg—Meiderich Rhein). Этим заводом выпущено большое число клеток для нужд горного дела.

Число клетей.	Число этажей.	Вес. Q kg.	Вес. H kg.	$\frac{Q}{N} \%$
32	1	25500	550	125
30	2	85600	2800	130
47	3	235000	3300	150
46	4	239000	4400	120

Как видно, никакого уклона в сторону облегчения клетки в ее весе не производится. Отношение $Q:N$ попрежнему далеко превышает результаты, полученные инженером Дессаром. Тот же самый вывод получится, если обратиться к данным К. Teiwes'a, помещенным в третьем томе труда: «Die Bergwerksmaschinen» (Die Schachtfördermaschinen стр. II).

Здесь дана интересная таблица, в которой более детально рассматриваются отдельные веса клетки, вагонеток, полезного груза, общего мертвого груза, отношение веса клетки к полезному грузу, отношение веса мертвого груза к полезному и число зараз поднимаемых клетью людей.

Число вагонеток.	Число этажей и распо- ложение вагонеток.	G. вес клетки.	W вес ва- гонеток.	N полезный груз.	L = G + W.	G:N %.	L:N %.	Число за- раз спус- каемых людей.
1	—	650	300	550	950	120	170	—
2	—	2000	600	1100	2600	180	240	—
4	2; вагонетки рядом.	2500	1200	2200	3700	110	170	—
4	2; вагонетки одна за одной.	3000	1200	2200	4200	150	190	—
4	4	3000	1200	2200	4200	150	190	—
6	3	4500	1800	3300	5300	140	190	30
8	4	6000	2400	4400	8400	140	190	40 - 50

Здесь отношение $G:N$ еще неблагоприятнее, чем дает завод Tigler.

Таким образом, конструкция клетки, рассчитанной по методу Дессара, является заслуживающей самого серьезного внимания.

Если далее обратить внимание на то, как распределяется вес в клетке Дессара по отдельным статьям, то увидим следующее: при весе клетки в 1440 kg. на дополнительные принадлежности идет 827, а рама, стойки и т. д. весит всего в 613 kg., что составляет 47% общего веса клетки. Задача дальнейшего уменьшения веса клетя как за счет уменьшения веса ее принадлежностей, так и за счет веса рам, стоек и т. д. стоит на очереди и удачное выполнение ее только можно бы приветствовать.

Тут необходимо обратить внимание на возможность применения к клетям материалов хотя и более дорогих, но зато обладающих большими сопротивлениями механическим воздействиям.

Дессар осторожно подходит к этому вопросу, указывая на никелевую сталь, обладающую сопротивлением разрыву в 85 kg/mm^2 и удлинением в 14%. Подсчет подсказывает, что применяя такую сталь, можно для шахты глубиной в 1500 mt. изготовить клеть весом всего в 1000 kg. Вес каната составит тогда только 6750, а момент сопротивления только 23000 kg. mt.

Мы смело присоединяемся к этому выводу. Уже в течение целого ряда лет мы указывали кадру будущих работников в горном деле на крайнюю необходимость заняться вопросом о замене прежних строительных материалов для клетки новыми. К числу таких материалов мы относим сплавы алюминия, о которых вскользь упоминалось в начале статьи.

Практика воздухоплавания показывает, что применение этих новых материалов во всяком строительном деле может дать в высшей степени благоприятные результаты.

Сто лет тому назад химик Велер впервые получил алюминий; семьдесят пять лет как Сен-Клер-Девиль получил алюминий в достаточном количестве для лабораторных исследований.

Если в 1860 году цена одного килограмма алюминия доходила до 300 франков, то уже в 1908 году она уменьшалась в 150 раз.

Еще недавно в технической литературе проводилась бодрая мысль, что мы должны вступить в алюминиевый век. Горный инженер Альфред Вильм, подаривший человечеству после долголетних опытов, дуралюмин, практически осуществил чаяния техников. Обладая значительным сопротивлением разрыву, достаточной твердостью и тягучестью, дуралюмин хорошо сопротивляется влиянию атмосферы, сырости, действию азотной и серной кислоты и их паров, паров ртути, и только поддается заметному воздействию соляной кислоты и щелочей.

Пугаться того, что дуралюмин еще дорог, нечего. Будет больше спроса, будет понижена и цена на него.

В заключение вопроса о построении клетки и ее принадлежностей, мы должны указать, что по какому то странному недоразумению до сих пор клетки спускаются и поднимаются не освещенными. А между тем можно было бы готовить подъемный канат с проводом внутри и пользоваться этим проводом для подвеса световой энергии.

Эта задача стоит на очереди и должна быть решена человечеством.

Осветим путь нашей трудовой жизни во всех отношениях, чем мы только выполняли наш технический долг.

2. Динамический расчет одноэтажной клетки.

Динамические подходы к решению задач практического характера приобретают все больше и больше число сторонников, несмотря на то, что пользование динамикой значительно усложняет решение вопросов. Причина этому повороту кроется в том, что мы перестали довольствоваться малыми скоростями и малыми массами, а в таком случае статика не в силах дать удовлетворительных результатов, и приходится вводить в расчеты поправочные коэффициенты, что в конце концов умаляет ценность научных выводов до границ «расчета на глаз», и совершенно естественно выдвигает вперед «практику», а не науку. Практики с гордостью любят повторять: «я строил то-то и то-то», а если разобрать по существу, то вся постройка сводится к повторению того, что уже было и что несомненно обладает недостатками. На недостатках надо учиться, а не повторять их. В этом и состоит прогресс.

Вопросом о динамическом расчете клетки впервые занимался профессор Екатеринославского Горного Института С. А. Заборовский, написавший дис-

сертацию под названием: Динамический расчет двухэтажной рудничной клетки». В основу расчета он положил так называемый *потенциальный метод* строительной механики. Согласно этой теории, потенциальная энергия, которой обладает упругая система при наибольшей деформации, равна кинетической энергии содержащихся масс, сложенной с работой всех действующих сил на протяжении деформации.

Пример: Пусть подъемное устройство представляет стержень АВ, подвешенным, верхним концом к канату, а снизу несущий массу $= \frac{P}{g}$. В конце спуска верхний конец стержня ударяется о кулак, подвешенный при помощи стержня ВС, при чем точка С совершенно неподвижна (чер. 1).

Обозначим через.

F — поперечное сечение стержней АВ и ВС.

l — длина стержня АВ.

G — вес этого стержня.

n — длина стержня ВС.

V_0 — скорость удара клетки о кулак.

W — ускорение при ударе.

Сосредоточим массу $(P + G) : g$ в точке А.

В момент удара на точку В будет действовать сила.

$$\frac{(P + G)(g - w)}{g} = Q'.$$

Эта сила Q' вызовет определенное натяжение каната. Но такая же точно сила будет действовать и со стороны каната на клеть только в противоположном направлении. Для того чтобы изменить величину действия каната на клеть, нужно изменить вытяжку каната; напр., путем свивания каната с барабана.

Можно вычислить это изменение вытяжки каната для промежутка времени от момента удара до момента наибольшей деформации.

Пусть глубина шахты $= 400$ метров, разрывающее усилие 60 kg/mm^2 , а напряжение каната 8 kg/mm^2 . В таком случае вытяжка будет.

$$\varepsilon = 8 : 20000 = 0.0004.$$

Удлинение каната будет.

$$\Delta H = 400.1000.0.0004 = 160 \text{ mm} = 16 \text{ ст.}$$

Если самая клеть весит 800 kg. , вес двух вагонеток 2200 kg. , а длина $AB = BC = l + n = 400 \text{ ст.}$, то принимая наибольшее напряжение в стержне σ равным трем четвертям предела упругости, можно найти вытяжку.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{3/4.2000}{2000.000} = 0.00075$$

Удлинение стержня АС будет.

$$\lambda = (l + n)\varepsilon = 400.0.00075 = 0.30 \text{ см.}$$

Напишем теперь уравнение для прямолинейного движения тяжелой точки, колеблющейся под влиянием центральной упругой силы.

В общем виде это уравнение напишется так

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -K$$

Здесь K является силой упругости, которая заставляет массу m притягиваться к центру колебания.

Пользуясь известной формулой сопротивления материалов.

$$\lambda = \frac{Pl}{E\omega},$$

можно написать, что

$$P = \frac{\lambda}{l} E\omega$$

В нашем случае это выражение перепишется в таком виде.

$$\frac{m d^2 x}{dt^2} = -\varepsilon E \cdot F = -E \cdot F \cdot \frac{\lambda}{l+n}$$

Отсюда имеем

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = - \frac{EF \cdot g \cdot \lambda}{(l+n)(P+G)} = -K \cdot \lambda$$

Это дифференциальное уравнение вполне аналогично дифференциальному уравнению движения математического маятника, совершающего малые колебания. Для такого маятника время одного колебания будет.

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

В применении к рассматриваемому случаю время колебания будет

$$t = \pi \sqrt{\frac{1}{K}}$$

Рассмотрим теперь стержень—клеть, как систему, состоящую из двух частей: АВ и ВС.

Под влиянием действующих сил стержень АВ растянется на λ_1 , а второй на λ_2 . Эти растяжения будут происходить под влиянием сил R_1 и R_2 .

Не трудно усмотреть, что

$$R_1 = \sigma_{\max} F$$

а удлинение

$$\lambda_1 = \frac{R_1 l}{E \cdot F} = \frac{\sigma_{\max} l \cdot F}{E \cdot F} = \frac{\sigma_{\max} l}{E}$$

с другой стороны.

$$R_2 = R_1 - Q^1 = \sigma_{\max} F - \frac{(P+G)(g-w)}{g}$$

и соответствующее удлинение будет

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_{\max} \cdot n}{E} - \frac{(P+G)(g-w) \cdot n}{E \cdot F \cdot g}$$

Теперь без труда найдется выражение для потенциальной энергии приливной клетки и оно будет равно

$$\frac{1}{2} (R_1 \lambda_1 + R_2 \lambda_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{\max} \cdot F \cdot \sigma_{\max} l}{E} +$$

$$\frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\max} \cdot F - \frac{(P+G)(g-w)}{g} \left[\frac{\sigma_{\max} n}{E} - \frac{(P+G)(g-w)}{E F g} \right] \right\} =$$

$$= \frac{\sigma_{\max}^2 F l}{2 E} + \frac{\sigma_{\max}^2 F n}{2 E} - \frac{\sigma_{\max} (P + G) (g - w) n}{2 g E} -$$

$$- \frac{\sigma_{\max} (P + G) (g - w) n}{2 g E} + \frac{(P + G)^2 (g - w) n^2}{2 E F g^2} = \frac{\sigma_{\max}^2 F}{2 E} (1 + n) -$$

$$- \frac{\sigma_{\max} (P + G) (g - w) n}{g F} + \frac{(P + G)^2 (g - w)^2 n}{2 E F g^2}$$

Эта потенциальная энергия равна численно кинетической энергии и работе всех действующих сил во время деформации.

Если скорость посадки клетки на кулаки обозначить через V_0 , то кинетическая энергия и работа сил получит такой вид

$$\frac{m V_0^2}{2} + (P + G) (\lambda_1 + \lambda_2) - (P + G) \left(1 - \frac{w}{g}\right) \lambda_2 + \frac{1}{2} (P + G) \left(1 - \frac{w}{g}\right) \lambda_3$$

В этом выражении λ_0 означает удлинение, которое брусок АВ имеет перед ударом, будучи подвержен силе $(P + G) \left(1 - \frac{w}{g}\right)$.

Если заменить $P + G$ через Q , а массу m через $\frac{Q}{g}$, то получим такое уравнение.

$$\frac{F(1+n)}{2 E} \sigma_{\max}^2 - \frac{Q(g-w)n}{g E} + \frac{Q^2(g-w)^2 n}{2 E F g^2} = \frac{Q V_0^2}{2 g} +$$

$$+ Q \left[\frac{\sigma_{\max} l}{E} + \frac{\sigma_{\max} n}{E} - \frac{Q(g-w)n}{E F g} \right] - \frac{Q(g-w)}{g} \cdot \left[\frac{\sigma_{\max} n}{E} - \frac{Q(g-w)n}{E F g} \right] +$$

$$+ \frac{Q(g-w)}{2 g} \cdot \frac{Q(g-w)}{g} \cdot \frac{1}{E F}$$

Если принять во внимание, что скорость посадки клетки на кулаки вообще не значительна; то и пренебрежение ее в единицу времени т. е. ускорение тоже будет не велико по сравнению с ускорением от силы тяжести. Это соображение дает возможность, ради упрощения выводов, отбросить в дроби $\frac{(g-w)^2}{g^2}$ член содержащий $\frac{w^2}{g^2}$. А тогда получим такое квадратное уравнение относительно $\sigma_{\max}$.

$$\frac{F(1+n)}{2 E} \sigma_{\max}^2 - \frac{Q(1+n)}{E} \sigma_{\max} - \frac{Q V_0^2}{2 g} + \frac{Q^2}{2 E F} \left[n - 1 \left(1 - \frac{2 w}{g} \right) \right] = 0$$

Разрешая это уравнение, получим величину $\sigma_{\max}$

$$\sigma_{\max} = \frac{Q}{F} + \sqrt{\frac{Q^2}{F^2} \frac{2 l}{1+n} \left(1 - \frac{w}{g} \right) + \frac{Q V_0^2 E}{g F (1+n)}}$$

Для практики имеет большое значение вопрос о том, чтобы $\sigma_{\max}$ не доходило до предела упругости материала. Поэтому полагаем, что $\sigma_{\max} = \frac{3}{4} \cdot 2000 = 1500 \text{ kg/cm}^2$.

Останавливаясь на этой норме, воспользуемся тем же самым квадратным уравнением и разрешим его относительно F .

Итак, имеем

$$\frac{(1+n)}{2E} \sigma_{\max}^2 F^2 - Q \left[\frac{(1+n) \sigma_{\max}}{E} + \frac{V_0^2}{2g} \right] F + Q^2 \frac{\left[n-1 \left(1 - \frac{2w}{g} \right) \right]}{2E} = 0$$

Разрешая это уравнение, получим

$$F = \frac{Q}{\sigma_{\max}} \left\{ \frac{V_0^2 E}{2g(1+n) \sigma_{\max}} + 1 \pm \sqrt{\left[\frac{V_0^2 E}{2g \sigma_{\max} (1+n)} + 1 \right]^2 - \frac{n-1 \left(1 - \frac{2w}{g} \right)}{1+n}} \right\}$$

Если подкоренное выражение больше нуля, то оба корня действительны и положительны. Таким образом, должно быть

$$\frac{V_0^2 E}{2g(1+n) \sigma_{\max}} + 1 > \sqrt{\frac{n-1 \left(1 - \frac{2w}{g} \right)}{1+n}}$$

В подкоренном выражении второй член мал по своей численной величине по сравнению с первым, а потому без большой погрешности можно этим членом пренебречь. Тогда получим значительно упрощенное выражение для площади

$$F = \frac{Q}{\sigma_{\max}} \left[\frac{V_0^2 E}{g \sigma_{\max} (1+n)} + 2 \right]$$

Этой формулой и будем пользоваться для определения F .

Для нашего простейшего примера найдем

$$F = \frac{3000}{1500} \left[\frac{2500 \cdot 2.000.000}{981 \cdot 1500 \cdot 400} + 2 \right] = 2(8,5 + 2) = 21 \text{ см}^2$$

Зная F , можно определить время полного колебания t .

$$t = \pi \sqrt{\frac{1}{k}} = 3,14 \sqrt{\frac{400 \times 3000}{2.000.000 \times 21 \times 981}} = 0,0165 \text{ сек}$$

Половина этого времени, т.-е. 0,00825 секунды, соответствует времени размаха от центра колебаний до наибольшей деформации. Так как скорость посадки клетки на кулаки допускается небольшая ($V_0 = 0,5$ метра), то за время 0,00825 секунды с барабана сойдет лишь около 4,1 миллиметра. Это составляет лишь 0,0256 удлинения каната. В виду этого практически можно принять, что удлинение ΔH и сила Q^1 за время в 0,00825 сек. остаются неизменными.

В свою очередь это положение имеет следствием то допущение, что кинетическая энергия клетки к моменту удара уравнивается натянутостью каната, а следовательно, клеть свободно падает со скоростью V_0 на кулаки.

Представим себе одноэтажную клеть, состоящую из двух горизонтальных прямоугольных рам, связанных четырьмя стойками. В клеть помещается всего одна вагонетка. Перекладыни нижней рамы расположены как раз под осями вагонетки. Четыре кулака (чер. 2) опираются на две балки а, уложенные ковцами на абсолютно твердых опорах.

Предположим массу падающей клетки сосредоточенной поровну в точках касания колес вагонетки с рельсами.

А теперь решим такую задачу: какие силы R необходимо приложить в тех же точках, чтобы вызвать деформацию клетки, одинаковую с той, какую испытывает клеть, падающая на кулаки со скоростью V_0 ?

Короткие поперечины нижней рельсы хотя и подвергаются изгибу, но этим изгибом можно пренебречь. А тогда останется прогиб δ_1 длинной стороны нижней рамы и прогиб δ_2 балки a , которая поддерживает кулаки.

Определим эти прогибы.

Для балки АВ длиной l_1 (чер. 3), свободно лежащей на двух опорах и нагруженной сосредоточенной силой $R_1 = 1$ в расстоянии C от левой опоры, имеем такое уравнение для стрелы прогиба

$$\lambda_1 = \frac{1}{EJ_1} \cdot \frac{C^2 (l_1 - C)^2}{3 l_1}$$

Если та же балка подвержена действию силы $R_2 = 1$ в расстоянии C от правой опоры, то стрела прогиба в опасном сечении будет

$$\lambda_2 = \frac{1}{EJ_1} \cdot \frac{C^2 (l_1 - C)^2}{6 l_1} \left[\frac{2C}{l_1 - C} + 1 + \frac{C^2}{(l_1 - C)^2} \right]$$

Если обе силы действуют одновременно, прогиб будет

$$\delta_1 = R (\lambda_1 + \lambda_2),$$

где

$$R = R_1 = R_2.$$

Таким же точным способом найдем прогиб балки a .

$$\delta_2 = R (\mu_1 + \mu_2),$$

$$\text{где } \mu_1 = \frac{d^2 (l_2 - d)^2}{3 EJ_2 l_2} \text{ и } \mu_2 = \frac{d^2 (l_2 - d)^2}{6 EJ_2 l_2} \left[\frac{2d}{l_2 - d} + 1 + \frac{d^2}{(l_2 - d)^2} \right]$$

Точка приложения каждой из четырех сил R пройдет путь

$$\delta = R (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) = R \rho$$

А работа силы $4R$ будет равна

$$4 \cdot \frac{1}{2} \cdot R^2 \rho = 2 \rho R^2$$

С другой стороны, эта работа будет измеряться суммой

$$\frac{Q V_0^2}{2g} + Q \delta = \frac{Q V_0^2}{2g} + Q \rho R$$

И так, получим квадратное уравнение

$$2 R^2 \rho - Q \rho R - \frac{Q V_0^2}{2g} = 0$$

$$R^2 - \frac{Q}{2} R - \frac{Q V_0^2}{2g \rho} = 0$$

Разрешая это уравнение относительно R , получим

$$R = \frac{Q}{4} \pm \sqrt{\frac{Q^2}{16} + \frac{Q V_0^2}{2g \rho}}$$

Останавливаемся, конечно, на большем корне.

Можно далее из того же квадратного уравнения определить значение V_0 , т.е. ту предельную величину скорости, при наличии которой напряжения в частях клетки не перейдут за предел упругости

$$V_0 = \pm \sqrt{\frac{2 \rho g R (2 R - Q)}{Q}}$$

Так как оба значения V_0 одинаковы по абсолютной величине, то вопрос о знаке перед корнем не играет роли.

Если обозначить через σ наибольшее напряжение в раме, допускаемое при статическом расчете клетки на кулаках, если клеть попрежнему находится под нагрузкой Q , то можно написать пропорцию

$$4 R : Q = \sigma_{\max} : \sigma = \alpha$$

Пользуясь расчетным уравнением сопротивления материалов, напомним

$$\sigma_{\max} = \frac{R C}{w_1} \text{ и } \sigma = \frac{Q C}{w_1}$$

Определяя из этих соотношений R и Q и подставляя в выражение для V_0 , получим

$$V_0 = \sqrt{\frac{2 g \rho \cdot w_1 (2 \alpha - 1) \sigma_{\max}}{C}}$$

Если известно V_0 , то можно определить α , а значит, и σ т.е. то напряжение, которое может быть допущено при статическом расчете с тем условием, чтобы и ударное действие со скоростью V_0 не было опасно для целостности клетки.

Пример. Нужно рассчитать одноэтажную клеть, предназначенную для подъема двух вагонеток. Так как великая клеть предназначается для обслуживания шахты определенного сечения, то опорную площадь клетки тоже можно считать известной. Теоретический минимум внутренней площади пола клетки вполне определяется размерами вагонеток, помещающихся в одном этаже, но обычно между боками вагонеток и боками клетки остается небольшой зазор, шириною около 10 сантиметров. Что касается вышины клетки, то она выбирается с таким расчетом, чтобы даже рослый человек мог стоять в клетке, не стибаясь (около двух метров).

Этих данных вполне достаточно для определения каркаса клетки, который будет состоять из верхней и нижней рам, шести вертикальных стоек и четырех диагоналей (чер. 4). Расчету подвергаются длинные стенки клетки, представляющие простые сквозные фермы. Эти фермы совершенно одинаковы и на них действуют одинаковые силы, получающиеся от сложения веса самой клетки и нагрузки. Нагрузку клетки можно считать величиной известной, потому что вагонетка определенных размеров имеет определенный вес и вмещает определенный полезный груз, вес которого известен. Допустим, что вагонетка с грузом весит 1600 kg. Вес двух вагонеток будет 3200 kg.

Собственный вес клетки величина неотрешенная. Практика дает указание, что железные клетки со всеми принадлежностями весят от 0,8 до 1,5 поднимаемого груза, а стальные 0,6—0,7 веса железных. Одноэтажные клетки для одного вагончика весят от 400 до 800 kg, а для двух от 1000 до 2400 kg.

Машиностроительный завод акционерного общества Тиглер (Дунсбург—Мейдериш на Рейне) дает такие сведения о весе построенных им клеток:

26	клетей	в 1 этаж	веса	15600 kg.
3	»	»	»	5700 »
8	»	»	»	12800 »
3	»	»	»	4800 »

Средний вес одной клетки 1425 kg.

Первые 26 клеток представляют, очевидно, клетки для одной вагонетки, а последние 14 для двух вагонеток. Правильнее поэтому считать средний вес в 1700 kg.

Таким образом, на одну ферму придется нагрузка в 2450 kg.

Пусть эта нагрузка действует сосредоточенно в точках $k-k$ балки АВ, при чем точки $k-k$ приходятся как раз на линиях, проходящих по вертикали через центры тяжести.

Следующее упрощение в расчете сводится к тому, что кулаки располагаются как раз под угловыми стойками. На самом деле рама немного длиннее расстояния между крайними стойками.

Определим аналитически усилие X^I , действующее в средней стойке СІ, и усилие X^{II} , действующее в каждой диагонали.

Пусть поперечное сечение каждой стойки будет F_1 , а поперечное сечение диагоналей F_2 . Обозначим через J момент инерции поперечного сечения рам. Усилие, сжимающее каждую угловую стойку, пусть будет N .

Наконец, пусть обозначают:

M_1 —изгибающий момент для балки АВ для промежутка Аk;

M_2 —изгибающий момент для балки АВ для промежутка КС

M_3 —изгибающий момент в какой угодно точке верхней рамы.

Сила N , сжимающая любую из крайних стоек, определится без труда.

$$N = -\frac{1}{2} \left(X^I + 2 X^{II} \sin \alpha \right),$$

где α угол наклона диагонали к балке АВ.

Также просто найдутся и моменты

$$M_1 = \left(K - \frac{X^I}{2} - X^{II} \sin \alpha \right) x;$$

$$M_2 = M_1 - K(x - a) = Ka - \left(\frac{X^I}{2} + X^{II} \sin \alpha \right) x; \quad M_3 = \frac{X^I x}{2}$$

Применим к нашей ферме положение Строительной Механики о «начале наименьшей работы».

В силу этого положения «частные производные работы деформаций всякой системы по каждой отыскиваемой силе должны быть равны нулю». Так как искомыми силами являются X^I и X^{II} , то нужно написать два уравнения такого типа

$$2 \left(\frac{1}{EJ} \int_0^a M_1 \frac{dM_1}{dX_n} dx + \frac{1}{EJ} \int_x^1 M_2 \frac{dM_2}{dX_n} dx + \frac{1}{EJ} \int_0^1 M_3 \frac{dM_3}{dX_n} dx \right) + \\ + \frac{1}{EF_1} X^I \frac{dX^I}{dX_n} h + \frac{2}{EF_2} X^{II} \frac{dX^{II}}{dX_n} h + \frac{2}{EF_1} N \frac{dN}{dX_n} h = 0$$

В этом уравнении h —означает высоту фермы, $2l$ —длину балки AB , d —длина диагонали, a —расстояние от точек A и B до точки приложения силы K , X_n —каждая отыскиваемая сила, т.е. $X' \dots X''$.

Беря частные производные от моментов по X' и X'' , получим

$$\frac{d M_1}{d X'} = -\frac{x}{2}; \quad \frac{d M_2}{d X'} = -\frac{x}{2}; \quad \frac{d M_3}{d X'} = \frac{x}{2};$$

$$\frac{d M_1}{d X''} = -x \sin \alpha; \quad \frac{d M_2}{d X''} = -x \sin \alpha; \quad \frac{d M_3}{d X''} = 0;$$

Частные производные от N по X' и X'' будут

$$\frac{d N}{d X'} = -\frac{1}{2}; \quad \frac{d N}{d X''} = -\sin \alpha;$$

Наконец, частные производные от X' и X'' по X' и X'' дадут

$$\frac{d X'}{d X'} = 1; \quad \frac{d X'}{d X''} = 0; \quad \frac{d X''}{d X'} = 0; \quad \frac{d X''}{d X''} = 1;$$

Вводя эти значения частных производных и величины моментов, приведем интегральные уравнения к такому виду

$$\int_0^a \left(-\frac{k x^2}{2} + \frac{X' x^2}{4} + \frac{X'' \sin \alpha x^2}{2} \right) dx + \int_a^l \left(-\frac{k a x}{2} + \frac{X' x^2}{4} + \frac{X'' \sin \alpha x^2}{2} \right) dx + \int_0^l \frac{X' x^2}{4} dx + \frac{J}{2 F_1} X' h + \frac{J}{F_1} \left(\frac{X'}{4} + X'' \sin \alpha \right) h = 0$$

После интегрирования и приведения подобных членов этому уравнению можно предать такой вид

$$\left(\frac{l^3}{3 J} + \frac{3 h}{2 F_1} \right) X' + \left(\frac{l^3}{3 J} + \frac{h}{F_1} \right) \sin \alpha X'' = \frac{a (3 l^2 - a^2) k}{6 J}$$

Точно таким же получим и второе уравнение

$$\int_0^a \left(-k x^2 \sin \alpha + \frac{X' x^2 \sin \alpha}{2} + X'' \sin^2 \alpha x^2 \right) dx + \int_a^l \left(-k a \sin \alpha x + \frac{X' \sin \alpha x^2}{2} + X'' \sin^2 \alpha x^2 \right) dx + \frac{J d}{F^2} X'' + \frac{J \sin \alpha h}{2 F_1} X' + \frac{J \sin^2 \alpha h}{F_1} X''$$

После интегрирования и приведения получим

$$\left(\frac{l^3}{6 J} + \frac{h}{2 F_1} \right) X' + \left(\frac{l^3}{3 J} + \frac{h}{F_1} + \frac{d}{F_2 \sin \alpha} \right) \sin \alpha X'' = \frac{a (3 l^2 - a^2) k}{6 J}$$

Эти два уравнения являются основными для расчета клетки. В них известными являются величины l , h , d , угол α и величина силы K . Таким образом, неизвестными остаются следующие величины: J , F_1 , F_2 , X' и X'' .

Если дана конструкция клетки, работающей на какой либо шахте, то легко можно проверить, насколько эта конструкция выполнена удовлетворительно в смысле прочности при динамическом действии сил. Надобно только задаться скоростью посадки клетки на кулаки.

Если же имеется только схема клетки, и размеры сечения рамы, стоек и диагоналей неизвестны, то нужно отыскать пути для определения этих величин.

Сразу решить задачу нельзя, а нужно постепенно подходить к удовлетворительному результату.

Решим сначала первую задачу.

Пусть дана клеть в один этаж, предназначенная для подъема двух вагонок. Нагрузку клетки положим равной $= 1600 \times 2 = 3200$ килограммов. Собственный вес клетки можно определить путем подсчета. За основные данные примем такие величины:

$$l = 124 \text{ см.}; \quad a = 58 \text{ см.}; \quad h = 176 \text{ см.}; \quad d = 215,3 \text{ см.};$$

$$J = 925 \text{ см.}^2; \quad F_1 = 9 \text{ см.}^2; \quad F_2 = 5,6 \text{ см.}^2.$$

Скорость посадки клетки на кулаки положим равной $= V_0 = 40 \text{ см./сек.}$

В состав клетки входят такие части.

Ч А С Т И К Л Е Т И.	Количество в метрах.	Вес одного метра kg.	Общий вес в kg.
1. Верхняя и нижняя рама из коробчатого железа 160 × 65 мм. ; всего погонных метров $2(2,800 \times 2 + 0,900 \times 2) =$	15	18,7	285
2. Пол клетки в 5 перекладин коробчатого железа 120 × 55 мм ; погонных метров $0,900 \times 5 =$. . .	4,5	13,3	60
3. Вместо рельс угловое железо 75 × 75 × 12 мм ; общая длина $2,800 \times 2 =$	5,6	13,1	74
4. Шесть стоек коробчатого железа 65 × 42 мм ; об- щая длина $1,920 \times 6 =$	11,5	7,05	81
5. Четыре диагоналя полосового железа 70 × 8 мм ; общая длина $= 1,950 \times 4 =$	7,8	4,37	34
6. Пол, крыша и обшивка клетки с двух боков из дыр- чатого листового железа толщиной в 4 мм. площадь $=$ $= (2,800 \times 0,900 + 2,800 \times 1,200) 2 =$	11,76	25	294
7. Десять узловых косынок толщиной в 8 мм.	0,6	63	38
8. Рессора, паашют, дверцы, направляющие, прикреп- ления поперечин к рамам и т. д.	„	„	300
И Т О Г О			1166

Округлим это число до 1200 килограммов.

Таким образом, на ферму придется нагрузка в 2200 kg. (а по прибли-
зительному подсчету эта нагрузка была определена в 2450 kg., т.е. на
11,4% более).

Разрешим проинтегрированные уравнения относительно X' и X'' в за-
висимости от величины K .

$$\left(\frac{l^3}{3J} + \frac{3h}{2F_1} \right) X' + \left(\frac{l^3}{3J} + \frac{h}{F_1} \right) \sin \alpha X'' = \frac{(3l^2 - a^2)a}{6J} K$$

$$\left(\frac{l^3}{6J} + \frac{h}{2F_1}\right) X' + \left(\frac{l^3}{3J} + \frac{h}{F_1} + \frac{d}{F_2 \sin^2 \alpha}\right) \sin \alpha X'' = \frac{(3l^2 - a^2)a}{6J} K$$

Так как правые части у этих уравнений равны, то проще вычесть первое уравнение из второго. Тогда получим возможность найти отношение между X' и X'' .

Вычитание дает такой результат

$$\frac{d}{F_2 \sin \alpha} X'' = \left(\frac{l^3}{6J} + \frac{h}{F_1}\right) X'$$

Или, подставляя числовые величины.

$$46,9 X'' = 363,09 X'$$

Откуда

$$X'' = 7,74 X'$$

Подставляя это значение X'' в уравнение первое, получим после подсчета коэффициентов

$$716,36 X' + 5146,27 X' = 446,90 K$$

Откуда

$$X' = 0,087 K$$

и

$$X'' = 0,673 K$$

Займемся теперь вопросом о деформациях клетки и деревянных балок под кулаками.

В точке приложения к силы K клетка получит перемещение δ_1 , а перемещение деревянной опоры под кулаками пусть будет δ_2 . Таким образом, общее перемещение точки k будет равно $\delta = \delta_1 + \delta_2$.

Опорные деревянные бруски имеют поперечное сечение 26×26 см. и 20×20 см. и уложены один под другим (чер. 5). Связью между этими брусками являются чугунные консоли. Схематическое расположение кулаков и деревянных опор видно на чер. 6.

Моменты инерции деревянных брусков будут

$$J' = 38081 \text{ см.}^4 \text{ и } J'' = 13333 \text{ см.}^4$$

Если бы был только один брусок под кулаками с моментом инерции J , то точка k получила бы перемещение.

$$\begin{aligned} y &= \frac{K c_1^2 c^3}{6 E J l_1} \left(2 + \frac{c_1}{c} - \frac{c_1^3}{c_1^2 c} \right) + \frac{K c^2 c_1^2}{6 E J l_1} \left(2 \frac{c_1}{c} + 1 - \frac{c_1^3}{c_1 c^2} \right) = \\ &= \frac{K c^2 c_1^2}{6 E J l_1} \left[3 + 3 \frac{c_1}{c} - \frac{c_1^3}{c c_1} \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c} \right) \right] = \frac{K c^2 c_1^2}{6 E J l_1} \left(3 + 2 \frac{c_1}{c} - \frac{c_1^2}{c^2} \right) = \frac{m K}{J} \end{aligned}$$

(см. Hütte т. I. Сопротивление материалов. Балки постоянного сечения)

При двух брусках под действием тех же сил прогиб верхнего бруска будет

$$y_1 = \theta \frac{m K}{J'}$$

А прогиб нижнего бруска

$$y_2 = \frac{m}{J''} (1 - \theta) K$$

так как оба бруска связаны между собою, то $y_1 = y_2$.

Следовательно,

$$\frac{\theta}{J'} = \frac{1-\theta}{J''} \quad \text{или} \quad \theta = \frac{J'}{J' + J''} = \frac{38081}{51414} = 0,745$$

Если бруски из сосны, для которой $E = 100000 \frac{\text{kg.}}{\text{см.}^2}$, то

$$\delta_2 = \frac{0,745 K (43,5)^2 (91,5)^2}{6 \cdot 100000 \cdot 38081 \cdot 135} \left[3 + \frac{43,5}{91,5} - \left(\frac{43,5}{91,5} \right)^2 \right] = 0,000012346 K$$

По такому же приему определим прогиб δ , железной балки коробчатого сечения с размерами $160 \times 65 \text{ мм.}$, свободно лежащей на двух опорах и имеющей пролет $2l = 248 \text{ см.}$

Эта балка подвергается действию сил K в точках k , а затем действию сил $X' + 2 X'' \sin \alpha$ по середине по направлению снизу вверх.

Прогиб балки от первой системы сил будет

$$\delta_k = \frac{K a^2 (2l - a)^2}{6 E J \cdot 2l} \left[3 + \frac{2a}{2l - a} - \left(\frac{a}{2l - a} \right)^2 \right] = \frac{K \cdot 58^2 \cdot 190^2}{6 \cdot 2.000.000 \cdot 925 \cdot 248} \cdot \left[3 + 2 \cdot \frac{58}{190} - \left(\frac{58}{190} \right)^2 \right] = 0,000156 K$$

Прогиб от силы $X' + 2 X'' \sin \alpha$ будет

$$\delta_x = \frac{1,18 k \cdot (2l)^3}{16 E J} \left[\frac{a}{2l} - \frac{4}{3} \left(\frac{a}{2l} \right)^3 \right] = 0,0001318$$

В итоге получаем

$$\delta = \delta_k + \delta_x + \delta_2 = 0,0000365 K \text{ см.}$$

Для изучения динамического действия нагрузки по сравнению со статическим, напишем по теореме Кляпей она уравнение работ.

Груз $4 Q = 4400 \text{ kg.}$ предположим сосредоточенным в 4 точках k и пусть этот груз падает на кулаки со скоростью $V_0 = 40 \text{ см./сек.}$

Путь, пройденной каждой точкой приложения силы K (или фиктивной силой R) будет, согласно подсчету, $0,0000365 R$.

Тогда

$$\frac{4 Q}{2 g} V_0^2 + 4 Q (0,0000365 R) = 4 \cdot \frac{1}{2} R (0,0000365 R)$$

Подставляя сюда числовые величины и производя сокращения, получим

$$R^2 - 2200 R - 50.000.000 = 0$$

Отсюда

$$R = \infty 8256$$

Следовательно, отношение $R : Q = \infty 7,5$, т.-е. динамическое действие в 7.5 раза больше статического

Для проверки угловых стоек нужно воспользоваться формулой Эйлера.

$$\frac{P}{n} = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{n h^2},$$

где P раздавливающая стойку сила, а n запас прочности. Подставляя в это выражение числовые величины:

$$n = 5, E = 2.000.000, J_{\min} = 14,1 \text{ см.}^4; h = 176 \text{ см.,}$$

получим

$$\frac{P}{5} = \frac{9,86 \cdot 2.000.000 \cdot 14,1}{5 \cdot 30976} = \approx 1800 \text{ kg.}$$

А вся сила $P = 9000 \text{ kg.}$

Я не знаю, почему профессор С. А. Заборовский подсчитывает эту силу P равной 37000 kg.

Для того чтобы подойти к этому числу, необходимо рассматривать стойку, как балку с двумя закрепленными концами, т.-е. пользоваться формулой

$$P = \frac{4 \pi^2 E J_{\min}}{h} = 36000$$

Тогда безопасная нагрузка будет 7200 kg.

Сила, действующая на стойку, будет вычисляться по формуле

$$\frac{1}{2} (X' + 2 X'' \sin \alpha) = 0,59 R = 4871 \text{ kg.}$$

Так как сечение коробчатого железа (см. Hütte. изд. 9-е 1916 г. стр. 712 т. I) $= 9,03$, то на кв. сант. придется нагрузка

$$\frac{4871}{9,03} = \approx 540 \text{ kg.}$$

Сечение диагонали за вычетом заклепочных отверстий будет

$$(7 - 2) 0,8 = 4 \text{ кв. см.}$$

Растягивающая сила $X'' = \approx 5556$, а на квад. сант. 1386 kg.

Далее нужно проверить на прочность раму клетки. В этом случае достаточно ограничиться проверкой только длинной стороны рамы.

Расположение сил, действующих на раму, и их величина схематически изображены на чер. 7.

Соответствующие изгибающие моменты в точках приложения сил: 1 — 2 — 3 — 4 будут такие.

$$M_1 = 8256 \times 16 = 132096 \text{ kg. см.}$$

$$M_2 = 8256 \times 50 - 4871 \times 34 = 247186$$

$$M_3 = 8256 \cdot 98 - 4458 \cdot 82 - 4128 \cdot 48 = 245388$$

$$M_4 = 8256 \times 140 - 4458 \cdot 124 - 4128 \times 90 - 4 \cdot 128 \times 42 = 58152$$

Таким образом, напряжение в сечении (2) будет

$$\sigma_{\max} = \frac{M_2}{W} = \frac{247186}{116} = 2131 \text{ kg/cm}^2$$

Если напряжение на 1 кв. сант. в стойках и диагоналях не превосходило 2000, то здесь оно превышает 2000 на 6,55%, но опасаться такого напряжения не следует, ибо расчет велся в предположении сосредоточенных нагрузок от полного веса клетки, а на деле это не так.

Для расчета прочности заклепочных соединений принимают, что безопасное срезальное напряжение не превосходит 1800 kg/cm^2 , а сминающее кромку отверстия напряжение $= 4800 \text{ kg/cm}^2$. Диаметр стержня заклепок принят равным 1,8 см., так что площадь стержня составляет 2,5 кв. сант. Наименьшая толщина железа в заклепочных соединениях клетки составляет

0,55 см. На срезание заклепка выдержит $1800 \times 2,5 = 4500$ kg; кромка отверстия выдержит на смятие около $0,90 \times 4800 = \approx 4750$ kg. Таким образом, число заклепок взято с избытком.

Нужно еще проверить прочность деревянных брусков под кулаками.

Обращаясь к чер. 6, можно видеть, что изгибающий момент в точке К будет

$$M_K = 0,745 R c_1 = 0,745 \cdot 8256 \cdot 43,5 = 267557 \text{ kg cm}$$

Момент сопротивления бруса

$$W = \frac{38061}{13} = \approx 2928 \text{ cm}^3$$

Поэтому

$$\sigma_{\max} = \frac{267557}{2928} = \approx 91,4 \text{ kg/cm}^2$$

А можно допустить $\sigma_{\max}$ до 200 kg/cm².

Готовую клеть необходимо надежно скрепить с подъемным канатом, ибо, как показал опыт, недостаточное внимание к этому скреплению служило неоднократно причиной разрыва каната со всеми вытекающими отсюда последствиями. Место скрепления каната с клетью представляет самую слабую сторону каната, вследствие местного избыточного напряжения проволок и истирания их. Применение коушей парализует до известной степени вредное действие подвешенного груза, но слабое скрепление свободного конца каната с замком канатом остается. Чтобы избежать передвижения этого свободного конца, приходится прибегать к применению белтовых зажимов, чем обеспечивается возникновение значительного трения между проволоками и, следовательно, ущемление свободного конца. Однако непрерывное колебание каната разрушает эту связь.

К числу отрицательных сторон сцепного устройства относится нарушение равномерности поперечного сечения. На это изменение поперечного сечения влияют следующие обстоятельства:

1) Канат изготавливается часто из тигельной стали, у которой сопротивление разрыву часто составляет 120—160 kg/mm², между тем как для литого железа Сименс-Мартеновской печи $k_z = 45$, а для стали С.-Мартеновской печи $k_r = 55$, а эти последние материалы и применяются для упряжного устройства каната.

2) Канат работает главным образом на растяжение, а в сцепном устройстве выступает на сцену значительный изгиб по дуге малого радиуса.

3) Горные правила предписывают для каната брать 7—8 от запас прочности, а для сцепного устройства по меньшей мере десятерной, (при подъеме грузов). Во время подъема непрерывные колебания каната не успевают передаваться сцепному устройству, вследствие чего при нецелесообразном устройстве этого приспособления в отдельных проволоках сцепки возникают дополнительные напряжения, из коих напряжения от ускорения сцепного приспособления в горизонтальном направлении являются наиболее вредными.

Вполне естественно поэтому стремление конструкторов по возможности уменьшить эти колебания.

Хорошие результаты в этом отношении дают зажимы «Демаг».

Зажим представляет (чер. 7) коробку m из литой стали, в которую входят два клиновидных бруска С из очень прочного материала. Бруски имеют по оси отверстие, соответствующее диаметру каната. Снаружи у брусков имеются выемки n, в которые входят короткие плечи рычагов e, оси вращения которых имеют опорные точки в стенках коробки. К длинным концам рычагов прижимаются цепи (обычно три с каждой стороны), идущие вниз к клет

(два к центру клетки и четыре к наружным стойкам), а кверху наклонные установительные болты О, центральные гайки которых снабжены для возможности вращения цапфами.

Действие сцепного прибора сводится к следующему: при начале подъема канат, поднимаясь кверху, натягивает подвесные цепи, верхние звенья которых поворачивают длинное плечи рычагов вниз. В это время короткие плечи рычагов подают нижний клин кверху, а этот клин в свою очередь передвигает верхний клин, и таким образом защемляет канат. Не трудно понять, что такое защемление каната возможно только в том случае, когда внутренние конусы будут составными, так что части их будут сближаться при подъеме кверху и расходиться при обратном движении. Ущемляющей силой здесь является трение между канатом и внутренней поверхностью конусов. Пусть конусность клина выражается углом α . Необходимо выбрать такое отношение плечей рычага $\frac{l_1}{l_2}$, чтобы сила трения К в состоянии была удерживать грузную клетку с нижним уравнивающим канатом и в тоже время не производить избыточного давления на канат.

Обозначим вес клетки с грузом и нижним уравнивающим канатом через Р, угол трения между конусами и коробкой прибора назовем через $\rho = \text{tg } \mu \leq 0.15$. Пусть далее нормальное давление клина на внутреннюю стенку коробки будет N, нормальное давление внутренних стенок клина на канат будет P_2 . Наконец, допустим, что в точке А действует сила Q и прямо противоположная ей реакция — Q, а в точке С прилагается сила $P_1 = \frac{P}{2}$.

Обращаясь к схеме (черт. 8), не трудно написать следующие условия равновесия сил, приложенных к нашему телу.

$$P_1 + Q = N \sin \alpha + N \mu \cos \alpha$$

$$P_2 = N \cos \alpha - N \mu \sin \alpha$$

Здесь μN означает силу трения, идущую вниз вдоль образующей конуса, как это показывает стрелка.

Угол $\rho \leq 8^\circ 30'$.

Деля одно уравнение на другое, получим

$$\frac{P_1 + Q}{P_2} = \frac{\sin \alpha + \text{tg } \mu \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - \text{tg } \mu \cdot \sin \alpha} = \text{tg } (\alpha + \rho)$$

Отсюда можно написать

$$2 P_2 = K = 2 \frac{P_1 + Q}{\text{tg } (\alpha + \rho)}$$

Если $CB = l_1$ и $BA = l_2$, то

$$P_1 l_1 = Q l_2 : Q = P_1 \frac{l_1}{l_2} = \frac{P l_1}{2 l_2}$$

После этих дополнений можно написать

$$K = \frac{2 P_1 (1 + \frac{l_1}{l_2})}{\text{tg } (\alpha + \rho)} = P \cdot \frac{(1 + \frac{l_1}{l_2})}{\text{tg } (\alpha + \rho)}$$

Эта сила К производит при коэффициенте трения μ на поверхности каната трение μK , при чем

$$\mu K > P$$

Таким образом, избегается скольжение каната.

Далее важно отметить еще следующее. Сила K находится в определенном заранее отношении к грузу P , а потому избегается избыточное сдавливание каната, что могло бы произойти при неумелом управлении подъемом.

При рудничных подъемах приходится часто приподнимать клеть над кулаками. В начале этой операции груз P равен нулю, а, следовательно, и сила K . В этом случае канат должен только перемещаться в конусе, не производя должного подъема. Во избежание этого на болтах O устраивают гайки g с контргайками, обеспечивающими постоянное прижатие клина к канату. Далее свободный конец каната заземляется в зажиме k и снабжается внизу бабкой i .

При отрезании конца каната для пробы, приходится зажим переставлять. Эта перестановка производится просто. Установивши клеть на кулаки отвертывают гайку g и, повертывая гайку h , заставляют рычаг поворачиваться. После этого легко вытолкнуть из коробки прибора конус C . Стоит теперь отвернуть гайки зажима k и тогда перемещение каната через зажимное устройство производится без труда. Отрубив конец каната должной длины, возвращают гайки h и g в прежнее положение.

Как видно из этого описания, перемещение клетки по прямому канату отличается большим удобством. Между тем эта операция не такая простая, в особенности, если канат толстый и его приходится изгибать вокруг коуша. Во избежание налегания различных напряжений в канате в одном и том же месте каната, внутренняя полость конического зажима делается сверху немного конической. Этим достигается равномерное распределение давления по мере того, как увеличивается в самом канате растягивающая сила.

Наконец, сверху у всего зажимного устройства имеется длинная горловина, назначение которой заключается в том, чтобы удалить место зажима каната от области колебаний каната.

Многолетние опыты с большим числом зажимных устройств этой системы показывают, что повреждения внутри зажима каната очень редки. Еще реже случается вытягивание каната из зажима.

Та же фирма Demag (Дуйсбург) патентовала канатную подвеску (чер. 9) системы Eigen. Здесь также имеется коуш, около которого обвивается канат, но, в отличие от прежних систем подвесок, тут свободный конец каната не связывается вверху с рабочим канатом, а прилегает непосредственно к верхней части подвески, где схватывается целым рядом болтов. Таким образом, рабочий канат свободно выходит из литой горловины подвески, чем избегается большое сдавливание проволок каната. Незначительное напряжение от надавливания проволоки каната испытывают в нижней части горловины подвески, где имеется перегиб каната. Однако, вследствие большой высоты горловины, колебания каната не отражаются на этом месте заметным образом.

К числу преимуществ этой подвески нужно отнести то, что канат может быть обследуем в наиболее напряженных своих частях. Горловина коуша и примыкающая к ней устроенная часть подвески имеет откидные щиты m с болтами n .

Канатные подвески строятся с переставными накладками или шпинделем, что позволяет изменять высоту установки клетки на весу.

Канатные подвески поддерживают при помощи пластины O , связанных между собою болтом p , подвесную проушину r и скобу. Наличие этих частей дает возможность избегать резких ударов скобы о клеть. Небольшие перемещения клетки производятся вращением шпинделя C , муфта которого t имеет две цапфы f , проходящие через ушики пластины O . Это устройство позволяет перемещать подвес, а, следовательно, и клеть. При разрыве шпинделя C клеть не падает, так как гайка f подхватывается в нижней части U канатного зажима.

Для прикрепления к клетке нижнего уравнивающего каната применяются упрощенные конструкции подвесок, показанные на чер. 10. В этих конструкциях свободный конец каната тоже прижимается болтами к удлиненной горловине, а самый канат свободно выходит из соответствующего каната в коуше.

Со времени своего появления в горном деле и зажим и подвеска «Detag» непрерывно совершенствуются; каждый год фирма дает новые модификации, но основные идеи в этих конструкциях остаются не тронутыми, что свидетельствует о рациональности принципов построения. Несколько таких типов ланы на чер. 7а и 7б.

Почти что неизбежную часть каждой клетки, обслуживающей подъем и спуск людей, является парашют или приспособление, назначением которого является задержание клетки при обрыве каната, на котором подвешена клетка.

На чер. II, IIa дан один из таких парашютов системы машиностроительной фабрики А. Бейен, Герне в Вестфалии. Парашют принадлежит к типу эксцентровых.

В основу построения этого парашюта положена такая мысль. Статистика показывает, что наиболее часто канат обрывается при подъеме клетки. Что касается обрыва каната при спуске, то это явление наблюдается реже и причиной его служит чрезмерно быстрое сматывание каната с барабана в начале спуска клетки, когда скорость ее падения еще мала. Клетка в это время падает, как свободное тело, под влиянием силы тяжести. Приобретая все большую скорость, она опережает канат и производит порывистый толчок, иногда вполне достаточный для разрыва каната или надрывания его.

Расчет на такое напряжение каната может быть произведен только при обеспечении большого запаса прочности, когда канат выходит очень грузным. Более рациональным является возможное уменьшение веса клетки, веса вагонеток и самого каната.

Если клетка обрывается с каната при подъеме, то некоторое время под влиянием инерции она будет продолжать движение вверх, доведет свою скорость до нуля и только после этого изменит направление своего движения и будет падать, как свободное тело или в условиях, близко подходящих к такому движению.

Все парашюты, рассчитанные на мгновенное действие своих органов, проектируются на улавливание клетки в наиболее легких условиях. Насколько различны условия для улавливания клетки при восходящем и нисходящем движениях, можно видеть из таких соображений.

Допустим, что после того, как оборвавшаяся клетка приобрела при восходящем движении скорость, равную нулю, она прошла путь $S = 5$ см или 0,05 метра. В этом случае она будет обладать скоростью

$$U = \sqrt{2 g \cdot s} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \times 0,05} = \approx 1 \text{ mtr}$$

Падающую же клетку при обрыве каната при нисходящем движении приходится улавливать при скорости 15 mtr и более.

Если клетка обрывается с каната при скорости 10 метров направленной вниз (клетка опускается), то это все равно, что клетка свободно падает с высоты 5 метров

$$h = \frac{U^2}{2g} = \frac{100}{2 \cdot 9,81} = \approx 5 \text{ mtr}$$

Если вес клетки $G = 12000$ kg, то она в момент обрыва способна произвести работу

$$G \cdot h = \frac{G}{g} \cdot \frac{U^2}{2} = \frac{12000}{9,81} \cdot \frac{100}{2} = \approx 60000 \text{ kg} \cdot \text{mtr}$$

или 6.000.000 kg cmtr.

Если подействовать на эту клеть с силой G , равном весу клетки, то клеть будет падать с равномерной скоростью 10 mt/sec.

Если действующую на клеть силу увеличить до $2G$, то клеть приобретет равнозамедлительное движение с замедлением, равным $w = -9,81$ mt/sec. Это значит, что через 5 mtr хода она остановится. Таким образом весь путь, пройденный клетью, будет 10 метров, а работа, которой обладает клеть, будет

$$2 G h = 2 \cdot 12000 \cdot 5 = 120000 \text{ kg. mt.}$$

Увеличивая действующую силу до $3G$, получим силу, работающую на замедление, равной $2G$, и клеть остановится, пройдя путь 2,5 метра

$$G(h + h_1) = 3 G h_1; h + h_1 = 3 h_1; h_1 = 2,5 \text{ метр.}$$

Эти соображения приводят к таким принципам построения парашютов:

1. Прилагаемая к клетке сила должна носить характер тормозящей силы, по величине по меньшей мере равной двойному весу клетки.

2. Тормозящая или улавливающая падающую кисть сила должна действовать длительно, пока не остановится кисть.

3. У всех частей клетки и проводников, участвующих в работе улавливания, должен быть по меньшей мере четверной запас прочности на отпор действующим силам.

4. Улавливающие части должны быть в состоянии вынести без прогиба и разрушения даже такие удары, которые могут быть вызваны клетью, обладающей скоростью 15 mt/sec

5. Простота и удобство в обслуживании.

Эти соображения и положены в основу построения парашютов системы Вейен, принадлежащей к типу эксцентриковых.

Поверхность эксцентриков, соприкасающаяся с проводниками, делается либо гладкой, либо с небольшими зазубринами.

В качестве проводников могут быть болты деревянные брусья или рельсы.

На черт. II показан эксцентриковый парашют в применении к деревянным проводникам.

Здесь видны положения эксцентриков в разобщении с проводником и в действии, когда кривые поверхности вдавливаются в тело проводника с двух сторон.

Поворот эксцентриков из положения бездействия в рабочее положение производится сильными пружинами.

Пусть клеть весит 12000 kg. Тогда расчетным весом нужно принять 24000 kg, так что на каждый эксцентрик придется нагрузка в 6000 kg.

Работа улавливания клетки будет складываться из работы торможения и работы сдавливания проводника.

Если ширина эксцентрика в направлении, перпендикулярном к плоскости чертежа, будет равна 7 см, а длина дуги $a-b$ тоже будет 7 см, то, допуская для дуба временное сопротивление на сжатие равным 350 kg/cm^2 (см. Hütte, часть I стр. 547, издание 1915 г.), получим сдавливающую силу

$$350 \times 7 \times 7 = 17150 \text{ kg}$$

Так как суммарная сила трения будет действовать по касательной к поверхности трения, примерно где-то между точками a и b и будет иметь направление мало отличающееся от вертикального, то коэффициент трения f будет равен

$$f = \frac{6000}{17150} = 0,35$$

Если торможение происходит на пути в 5 метров, то работа деформации будет равна при вдавливании эксцентрика на глубину 2 см.

$$350.7.2.500 = 2.450.000 \text{ kg cm} = 24500 \text{ kg mtr}$$

На четыре эксцентрика это составляет 98000 kg mtr. Тормозящее действие на пути в 5 метров дает работу

$$6000 \times 4.5 = 120\,000 \text{ kg mtr}$$

Следовательно, общая механическая работа будет равна

$$98000 + 120000 = 218.000 \text{ kg mtr.}$$

Но работа улавливания клетки на пути в 5 метров должна составлять только 120000 kg mtr, что составляет около 60% от 218000. Значит, клеть должна остановиться, пройдя путь в 3 метра.

Если поперечное сечение проводника будет $12,5 \times 16$ кв. сант., если допускаемое временное сопротивление его сжимающему с двух сторон усилию будет 660 kg/cm², а должен выдерживать напряжение с двух сторон, равное только 12000 kg, то запас прочности в нем будет

$$\frac{600 \times 200}{12000} = \approx 10$$

При начале работы улавливания клетки эксцентрики энергично поворачиваются около своих осей под влиянием распрямления пружин и с силой, довольно значительной, садятся своими плоскими полочками на направляющие. Чтобы этот толчок не был слишком чувствительным для людей, находящихся в клетке и не вызвал нежелательных разрушений в ударяющихся частях, устраивают между направляющими и полкой эксцентрика мягкую прокладку: каучукую или деревянную, предназначенную для глушения удара.

На черт. 11а показана конструкция того же парашюта для того случая, когда направляющими служат рельсы.

На черт. 12 дана конструкция парашюта системы Вейдих по германскому патенту № 210869. (Машинная фабрика Эмилия Вольфа в Эссене).

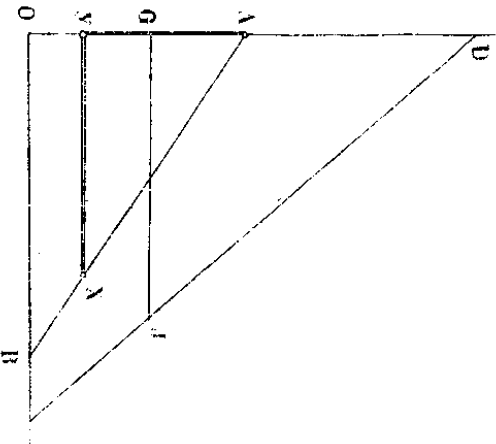
Этот парашют принадлежит к типу эксцентриковых тормозящих.

С двух сторон клетки, где имеются проводники, располагается по несколько пар конических валков (7), посаженных эксцентрично на оси (5). Наружная поверхность этих конических катков снабжена мелкими зубцами для увеличения сцепления при нажатии на направляющие (10). Конические катки годые и снабжены внутри винтовой нарезкой. Связь между коническим катком и осью (5) достигается не непосредственно, а при помощи эксцентрика (6), снабженного длинной втулкой. На боковой поверхности цилиндрического эксцентрика имеется винтовая нарезка, нитка которой входит, как в гайку, в углубление нарезки катка. Когда обрывается канат, пружина, рессорного типа, заставляет поворачиваться эксцентрично расположенные на осях катки и последние сцепиваются с осей, приходя в более тесное соприкосновение с направляющими.

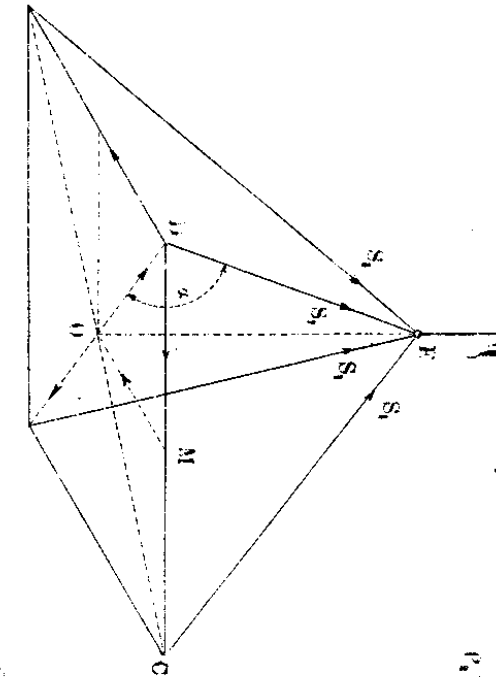
Такова идея конструкции парашюта Вейдих. При опытах с этим парашютом была выбрана клеть весом в 1800 kg с нагрузкой в 1000 kg. При пуске клетки из состояния покоя, путь торможения составил 1,4 метра, а эксцентрик вывернулся на 25 мм.; в другом опыте при тех же условиях путь торможения оказался равным 3 метрам, а эксцентрик вывернулся на 55 мм. В другом случае та же клеть пускалась со скоростью 4 mtr/sec. Путь торможения составил 4 метра, а эксцентрик вывернулся на 55 мм.

Всех систем парашютов чрезвычайно много, их теория очень интересна, но излагать ее мы не будем, надеясь осуществить эту мысль в последующих наших работах по рудничной механике. Тогда же мы рассчитываем коснуться более подробно расчета всех частей парашютов.

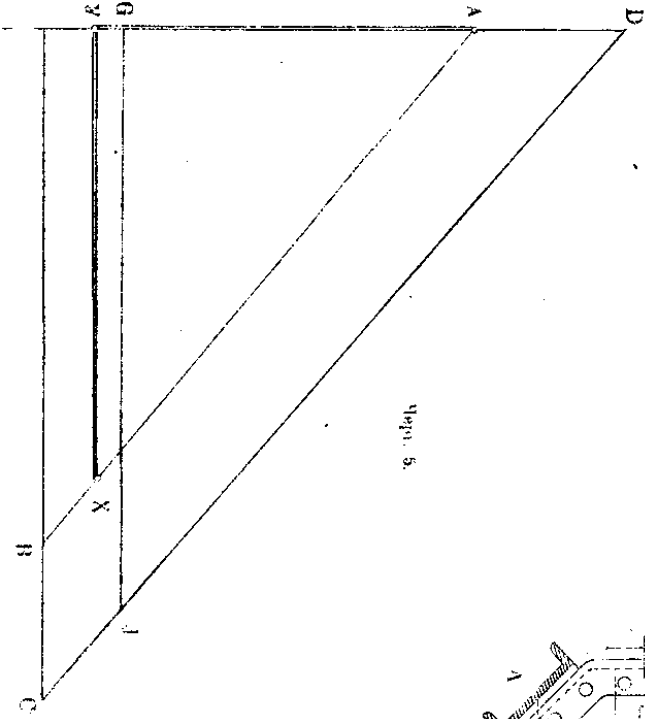
Черт. 1.



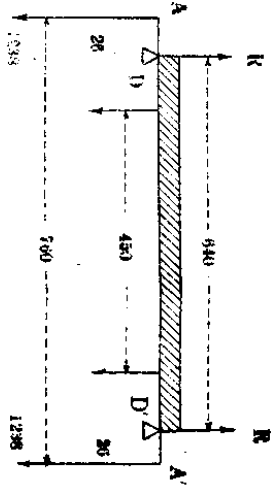
Черт. 2.



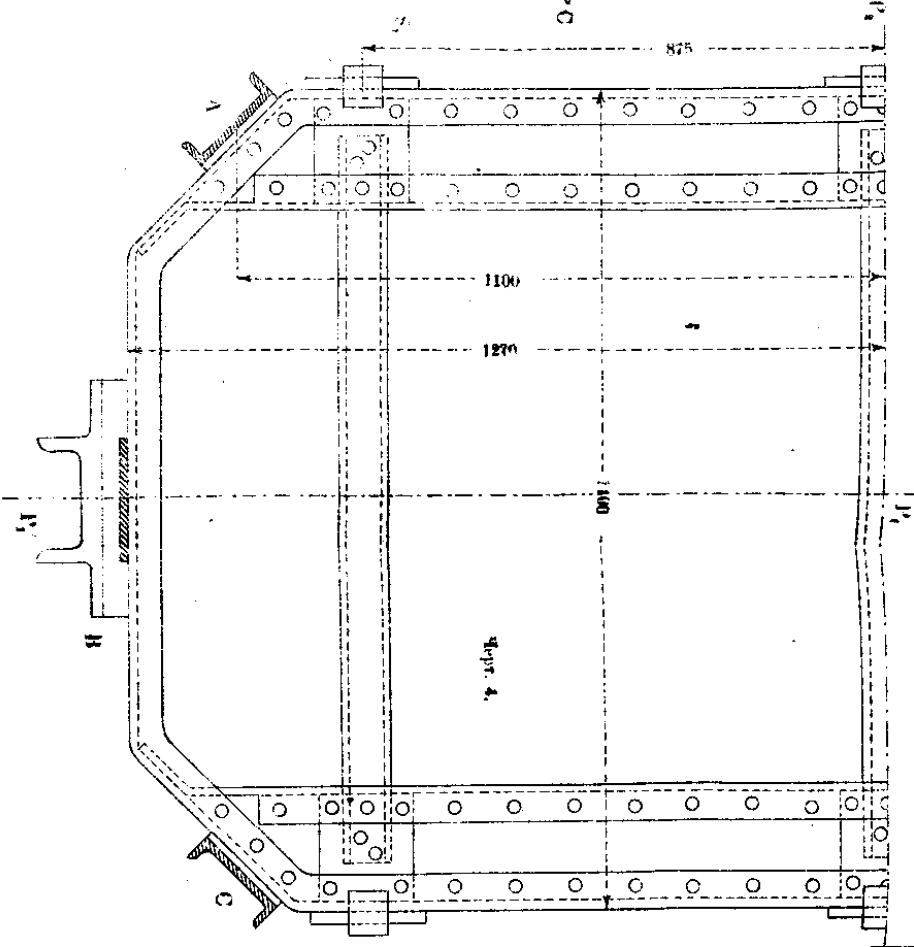
Черт. 3.

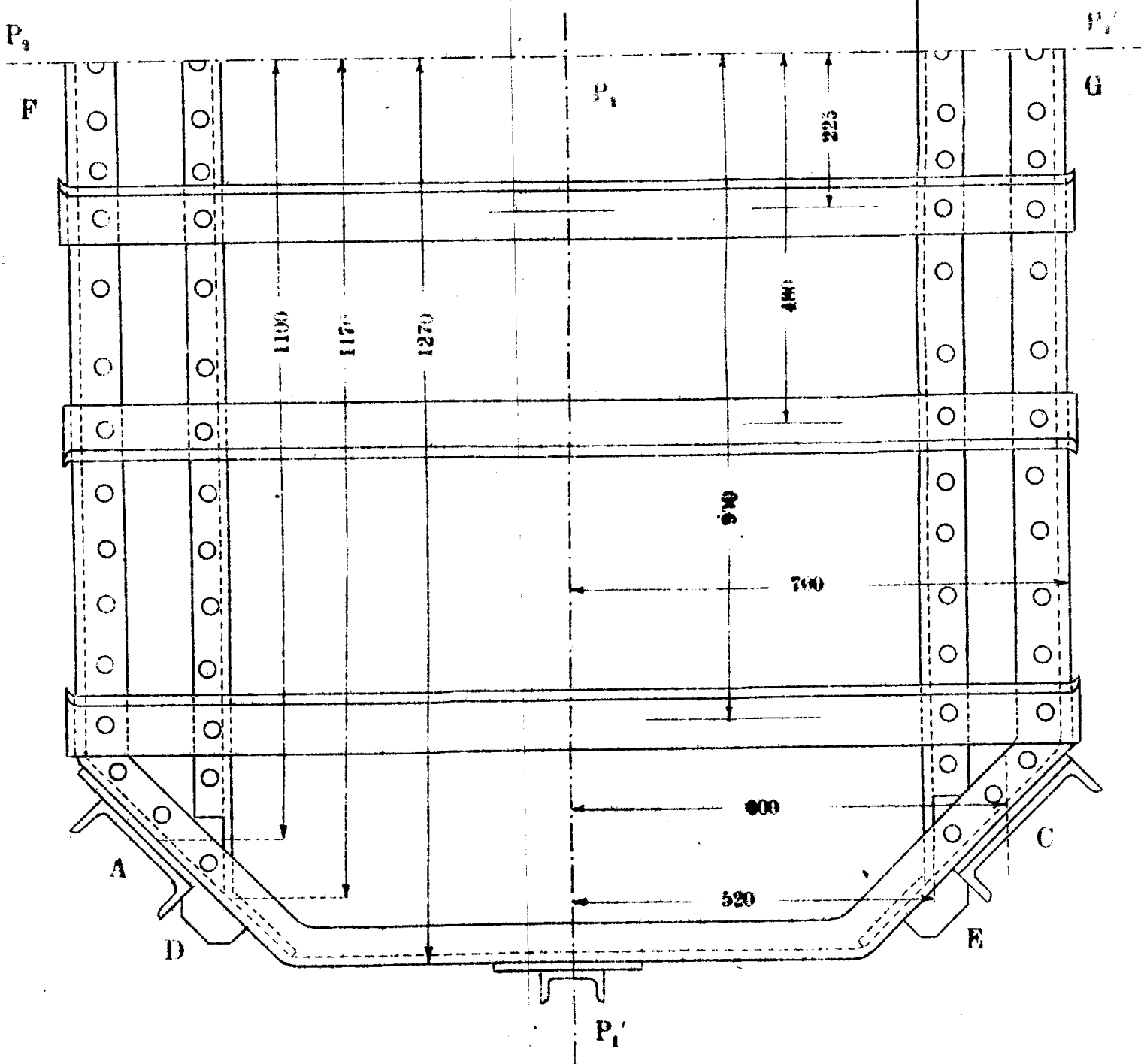
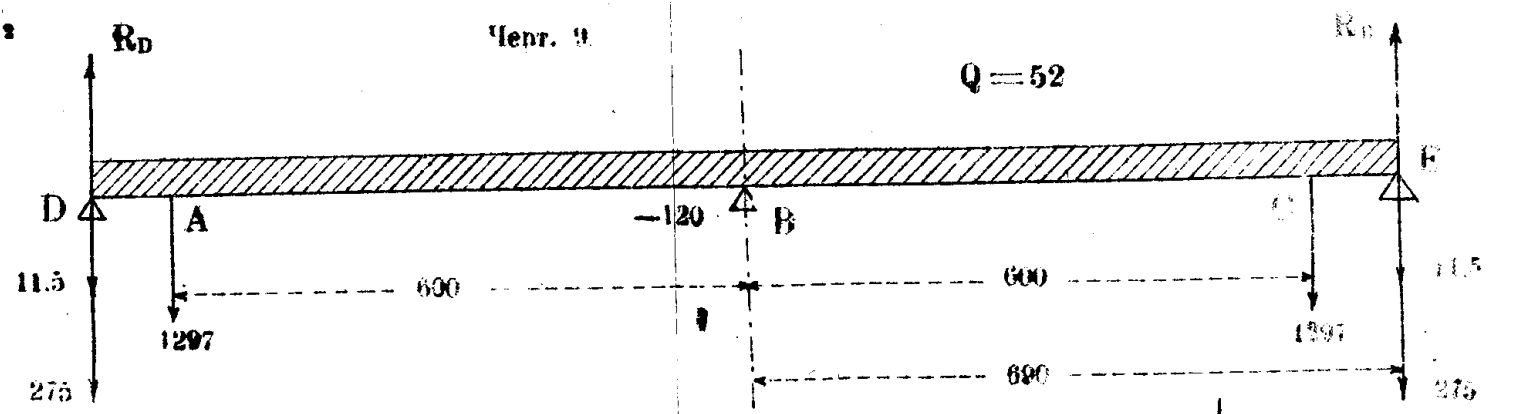


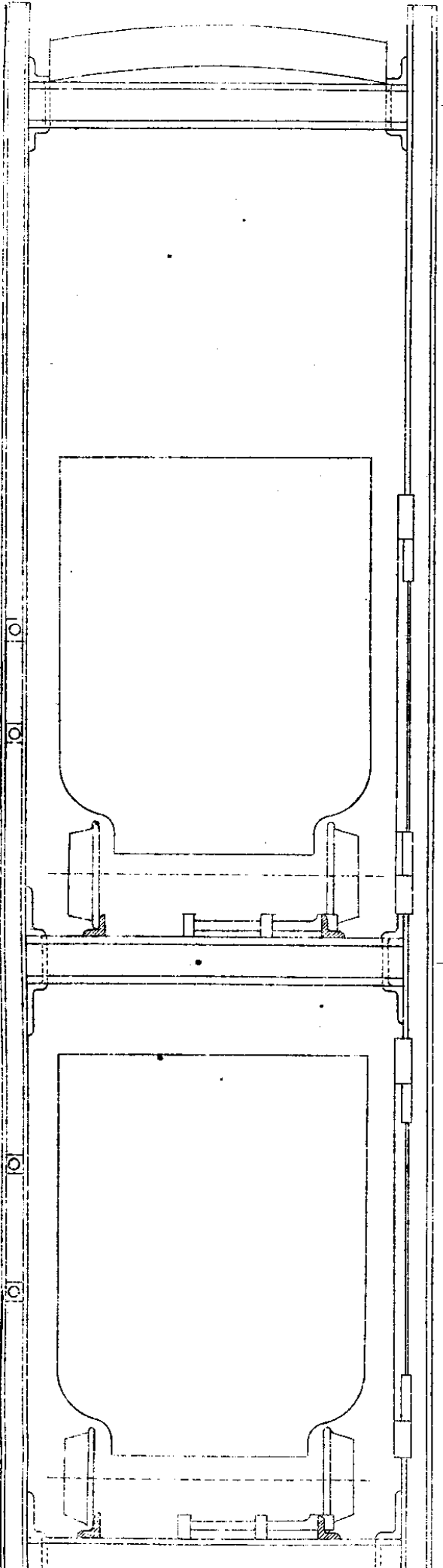
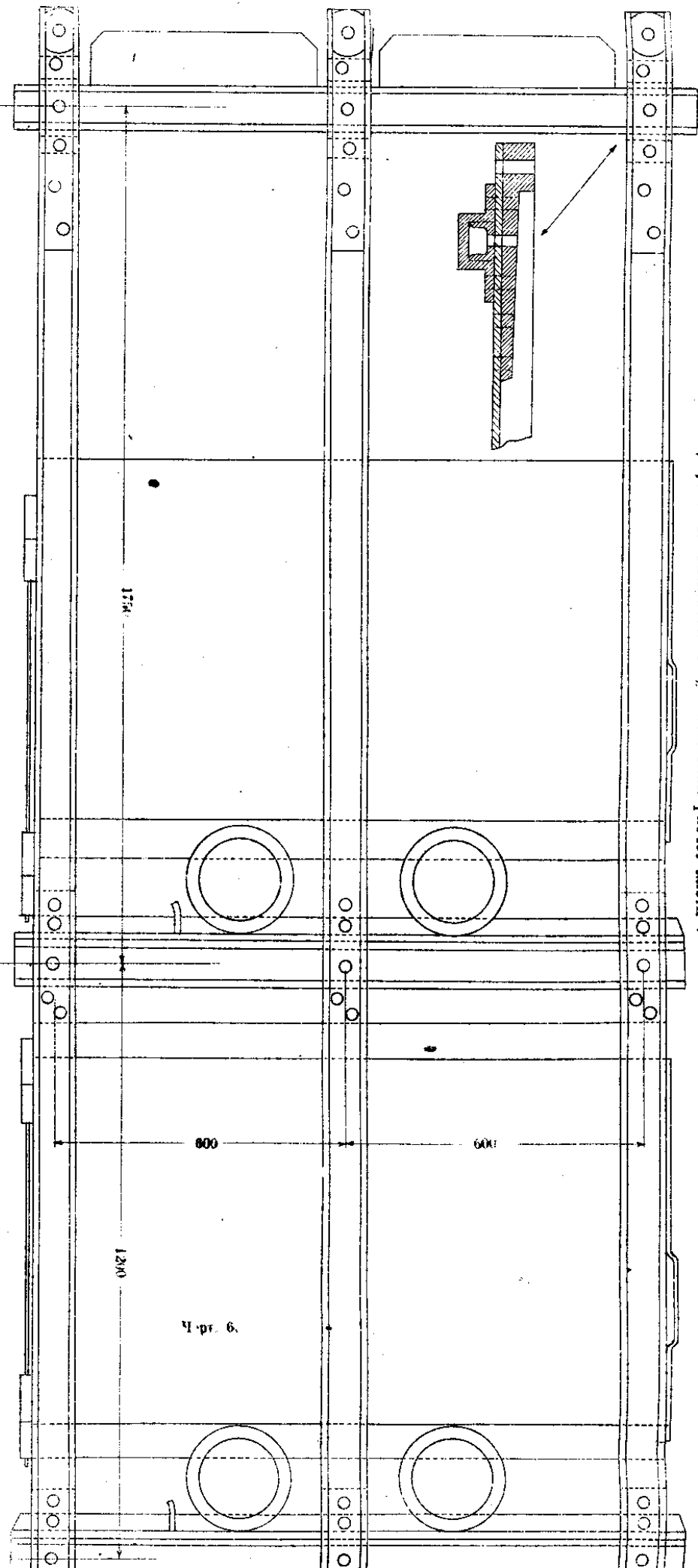
Черт. 4.

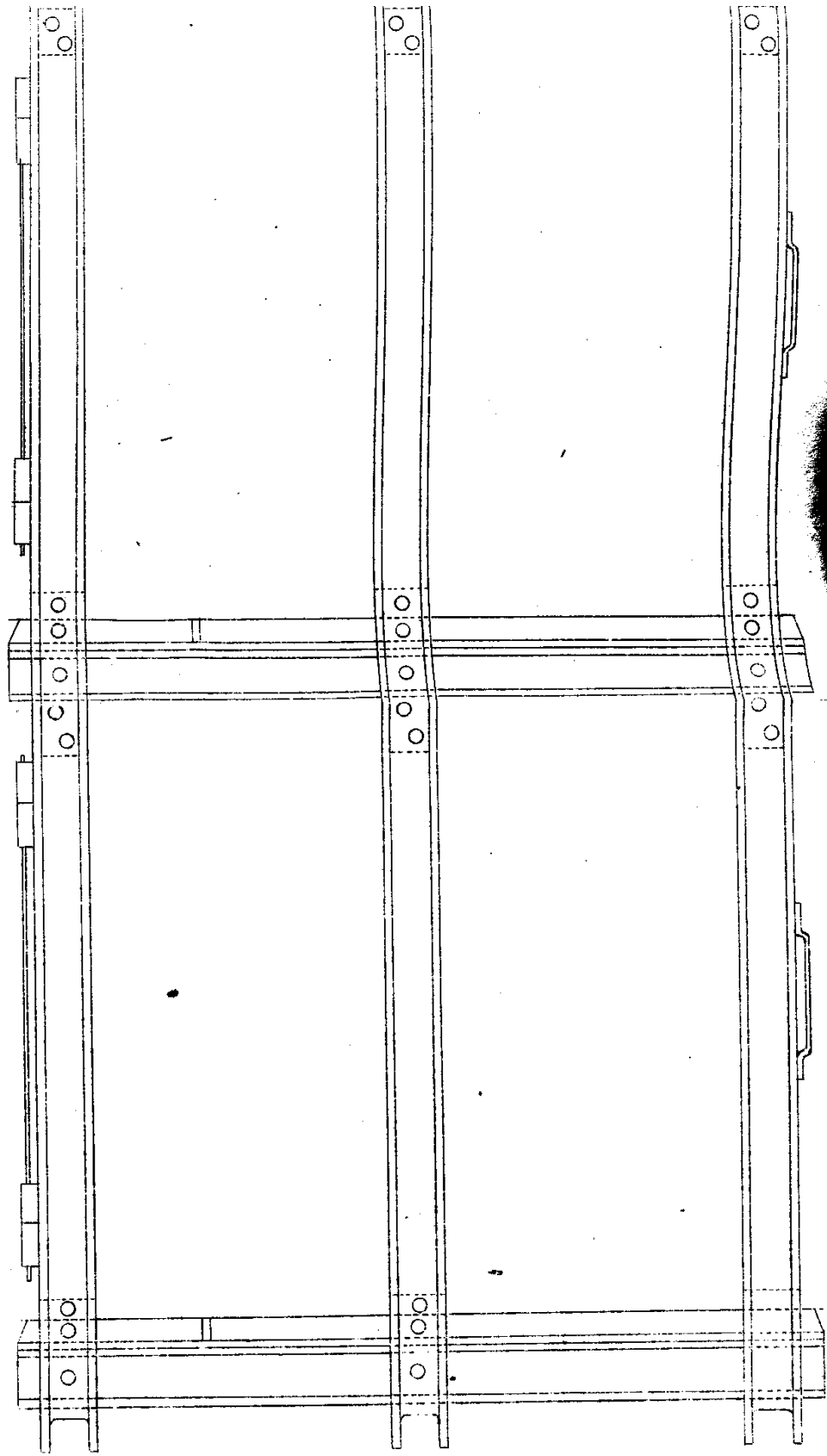
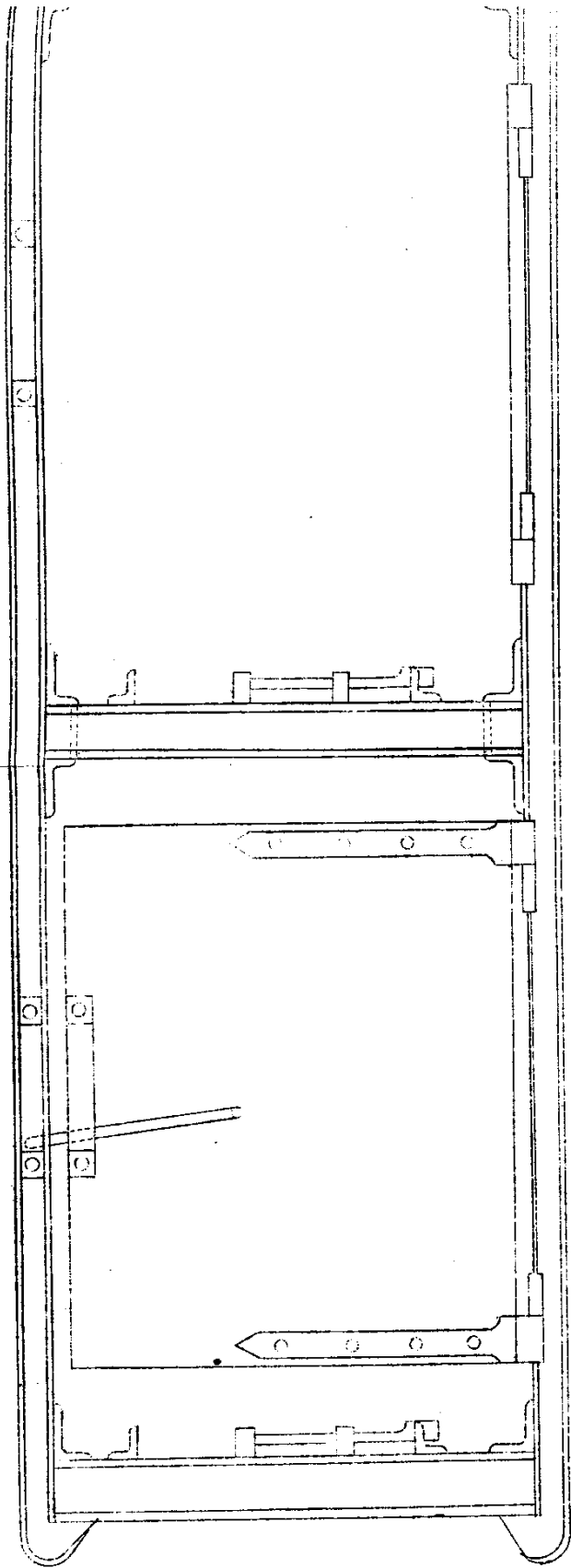


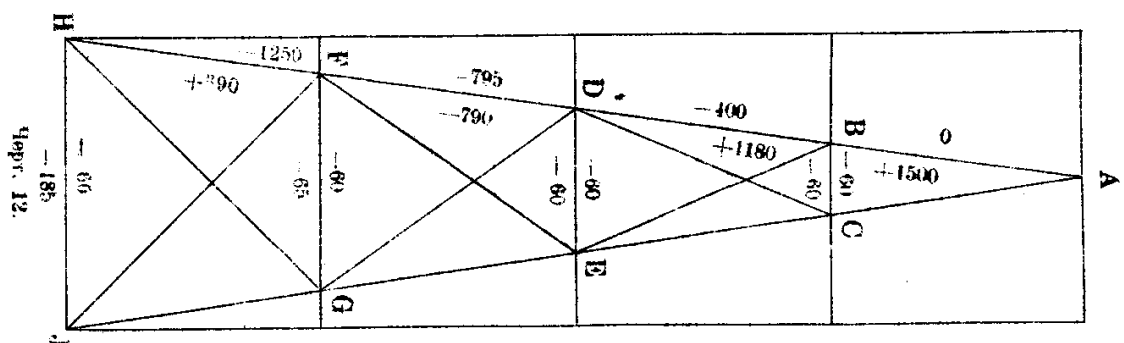
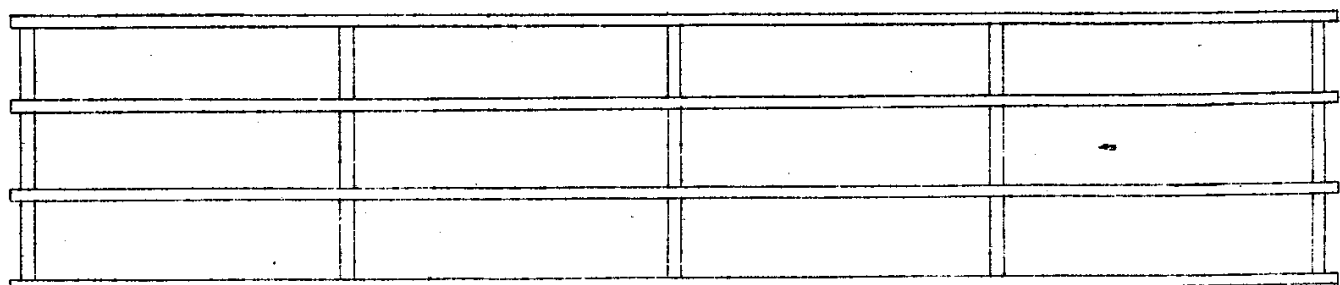
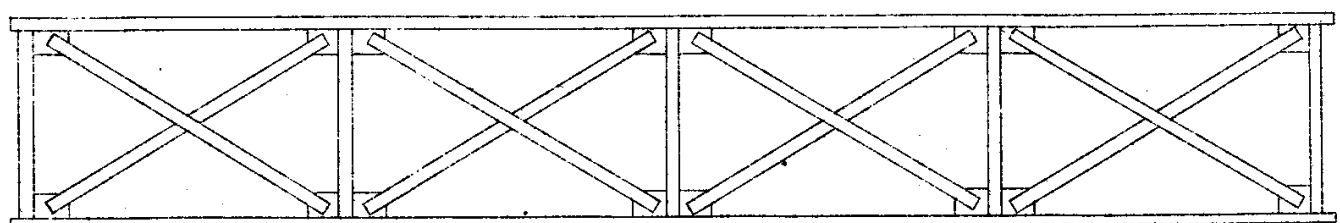
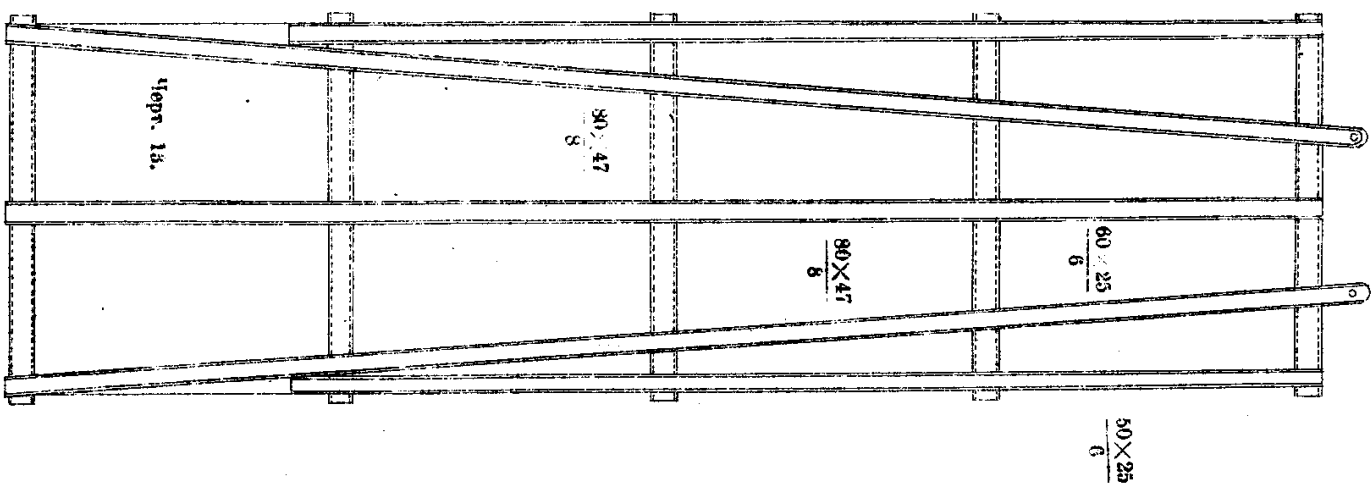
Черт. 5.

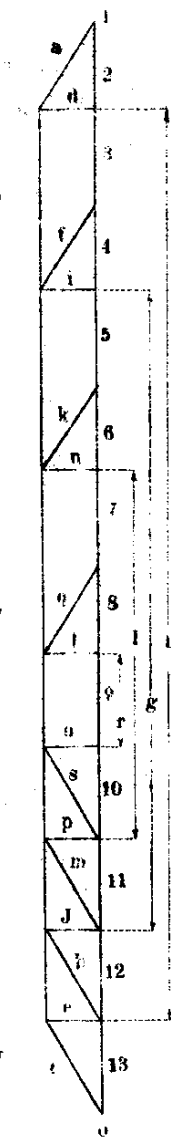
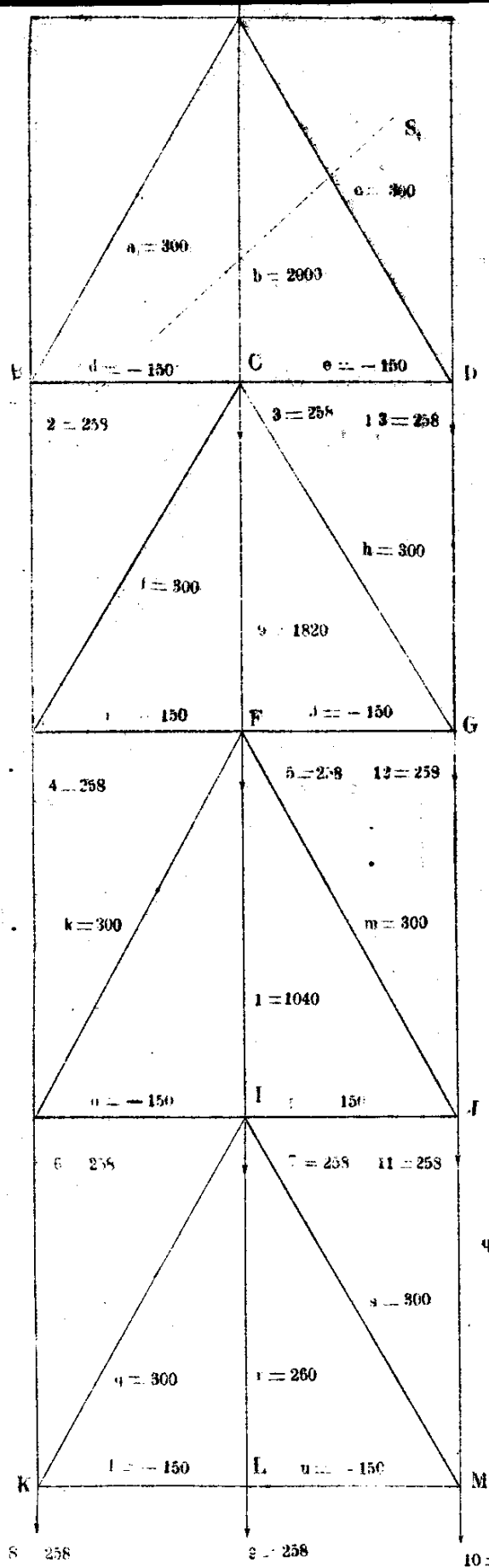




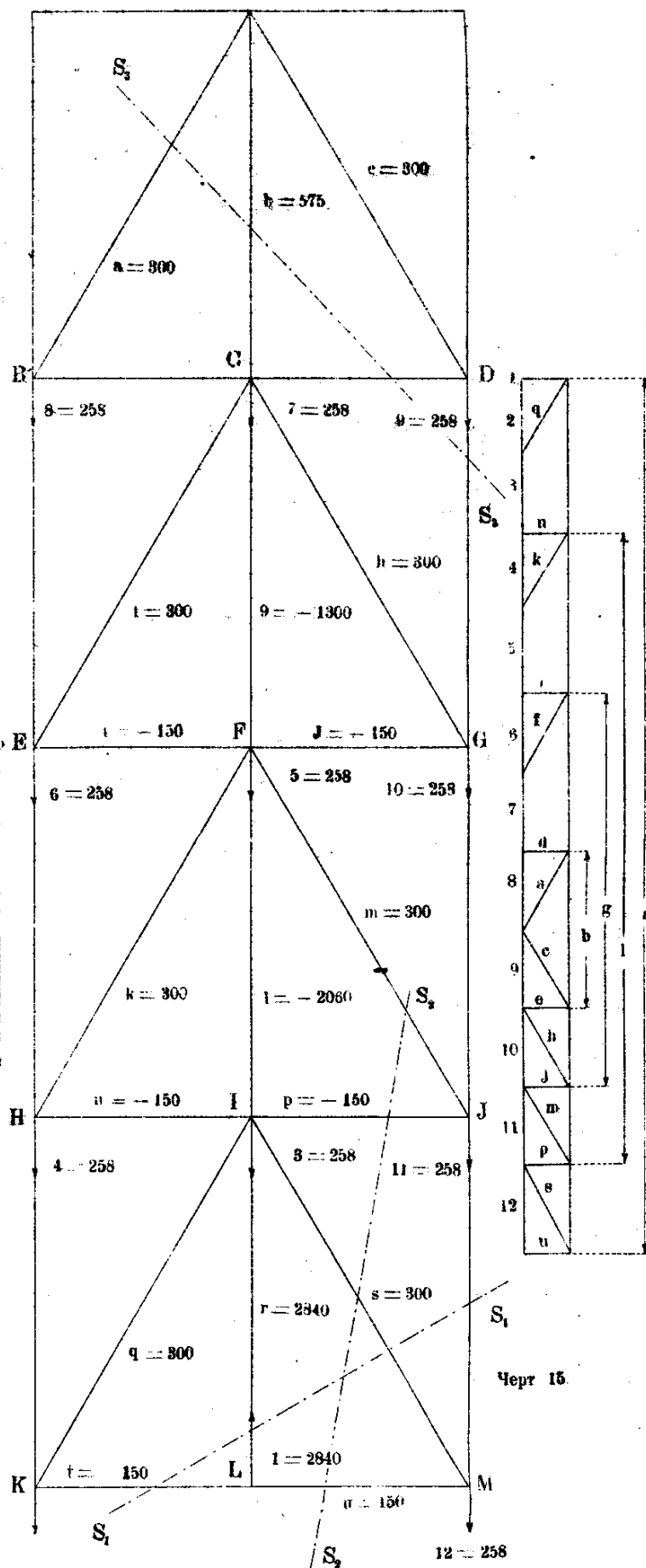




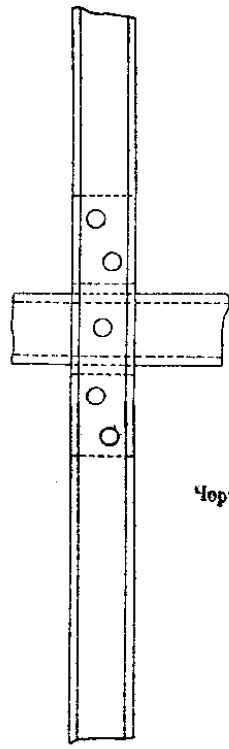
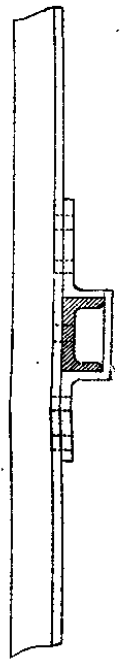




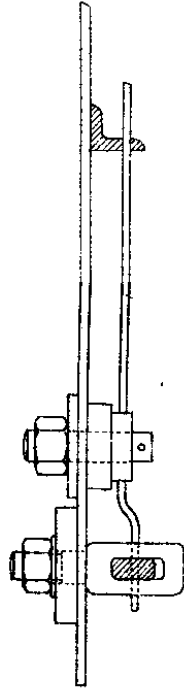
Чепр. 14.



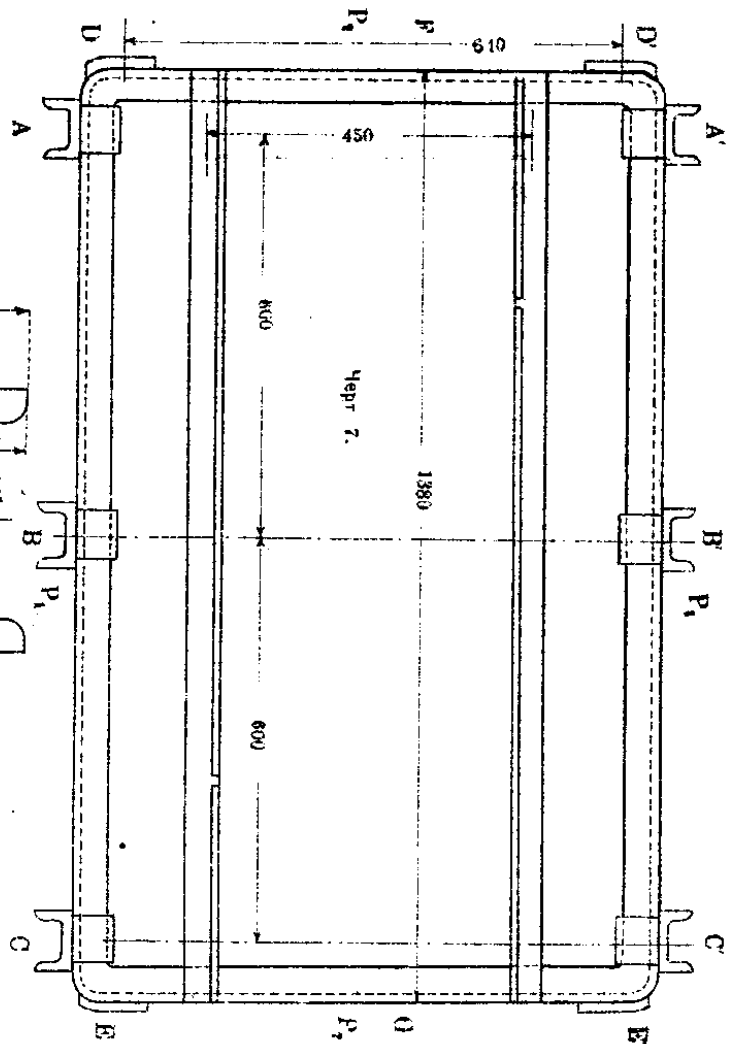
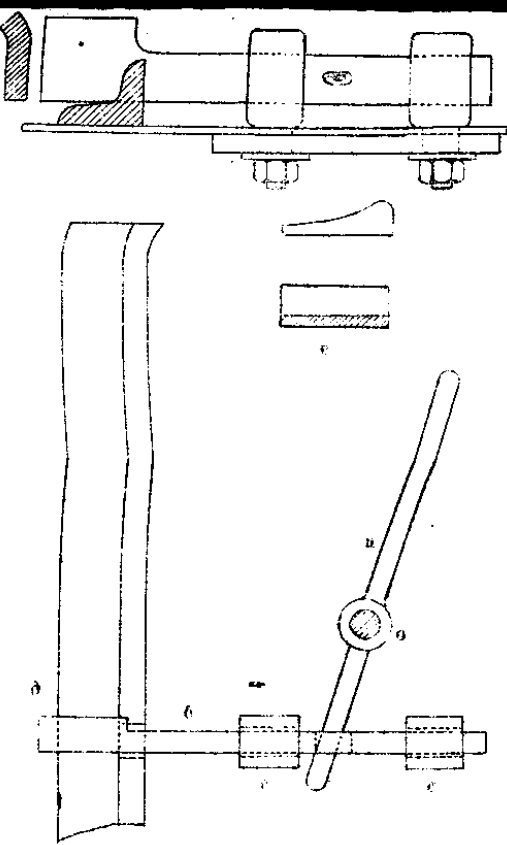
Чепр. 15.



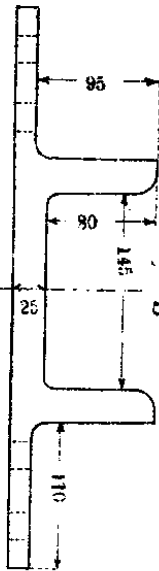
Черт. 16



Черт. 17.



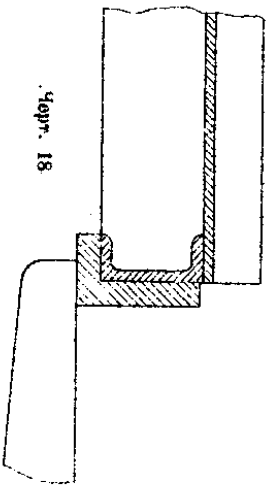
Черт. 7.



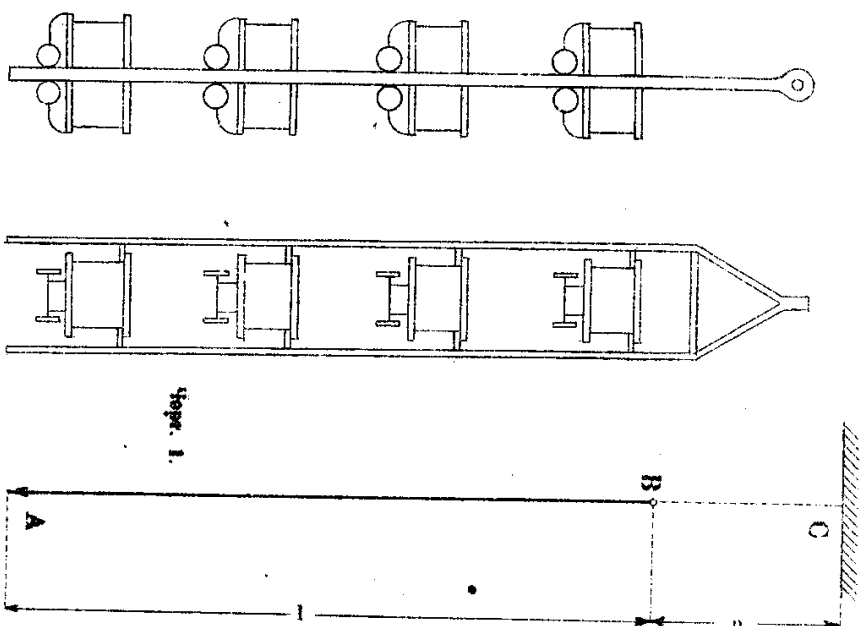
15



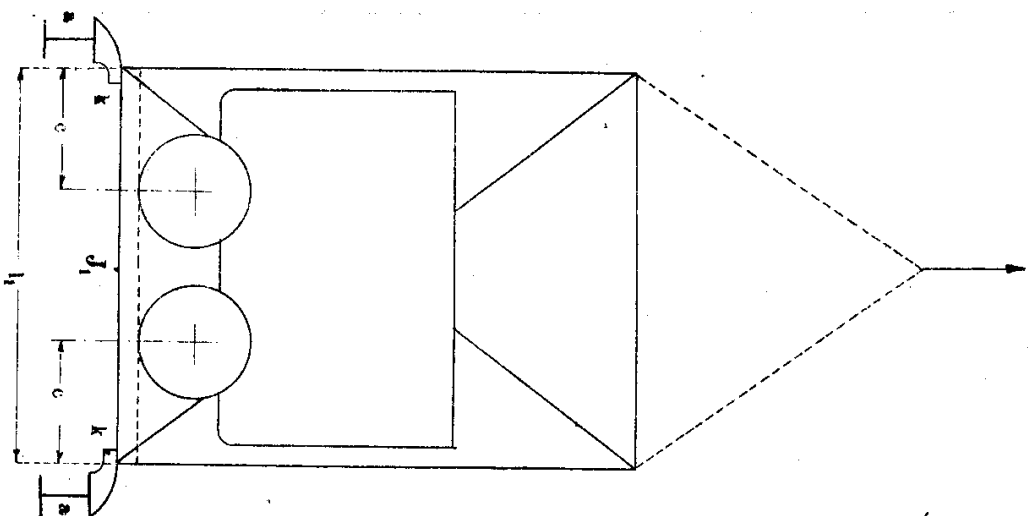
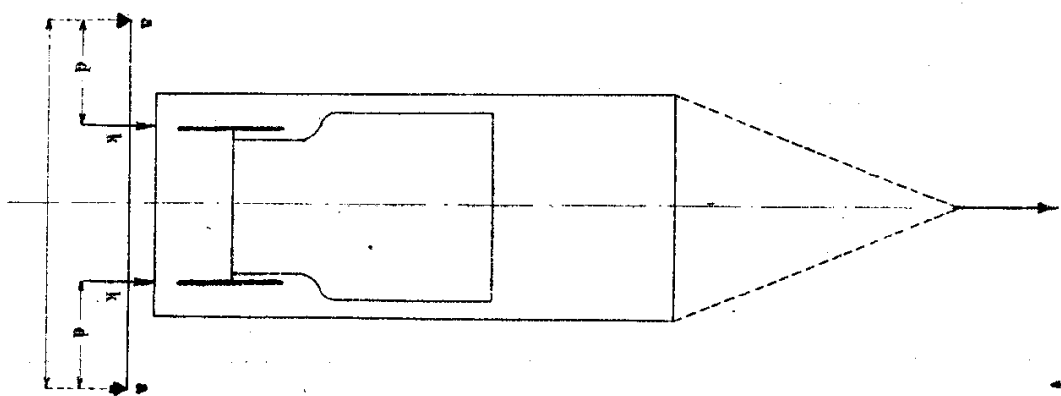
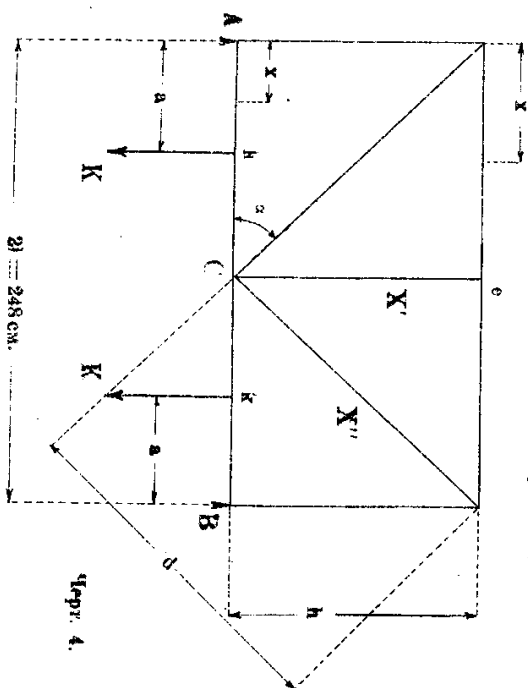
Черт. 19



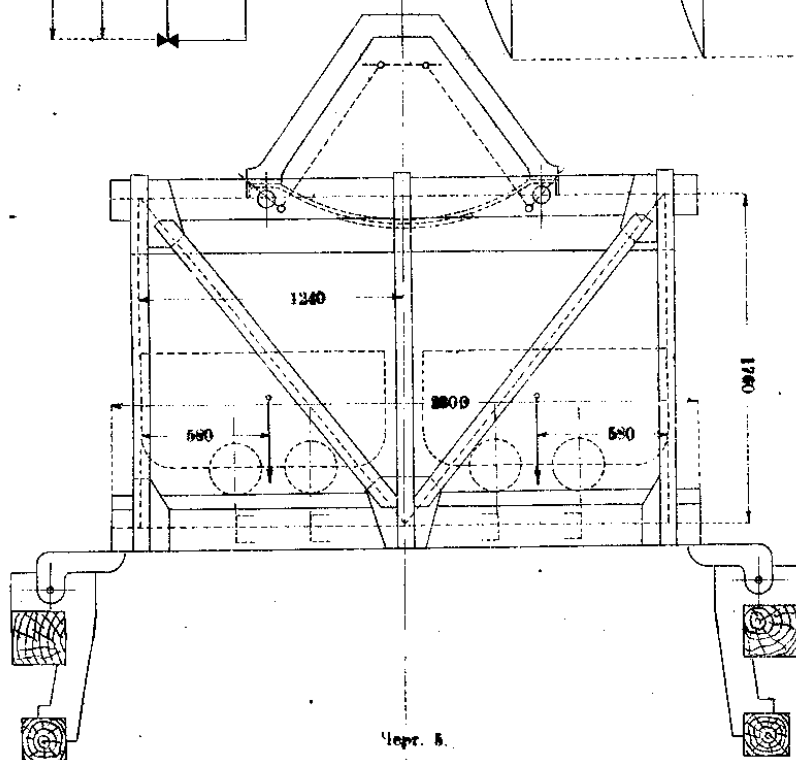
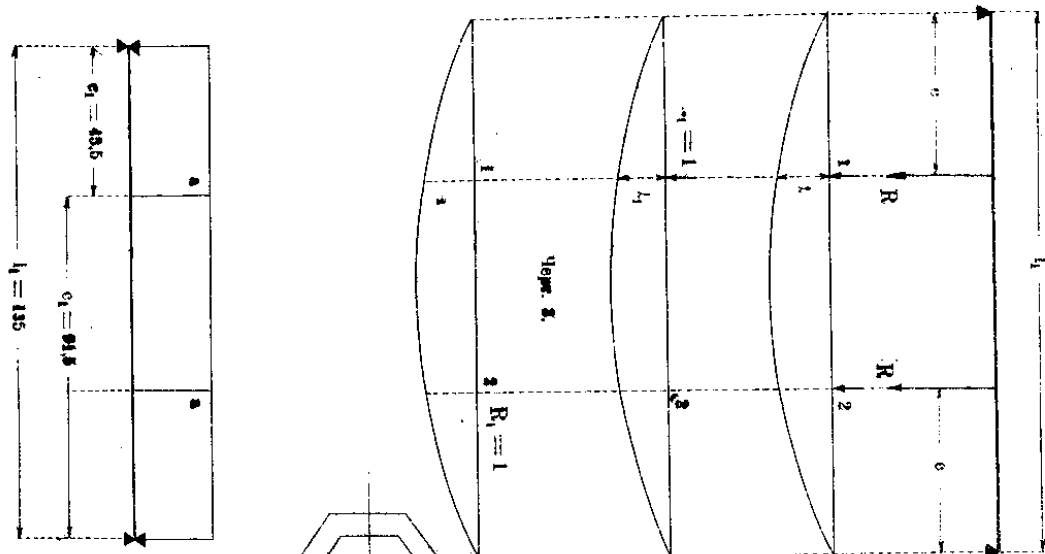
Черт. 18



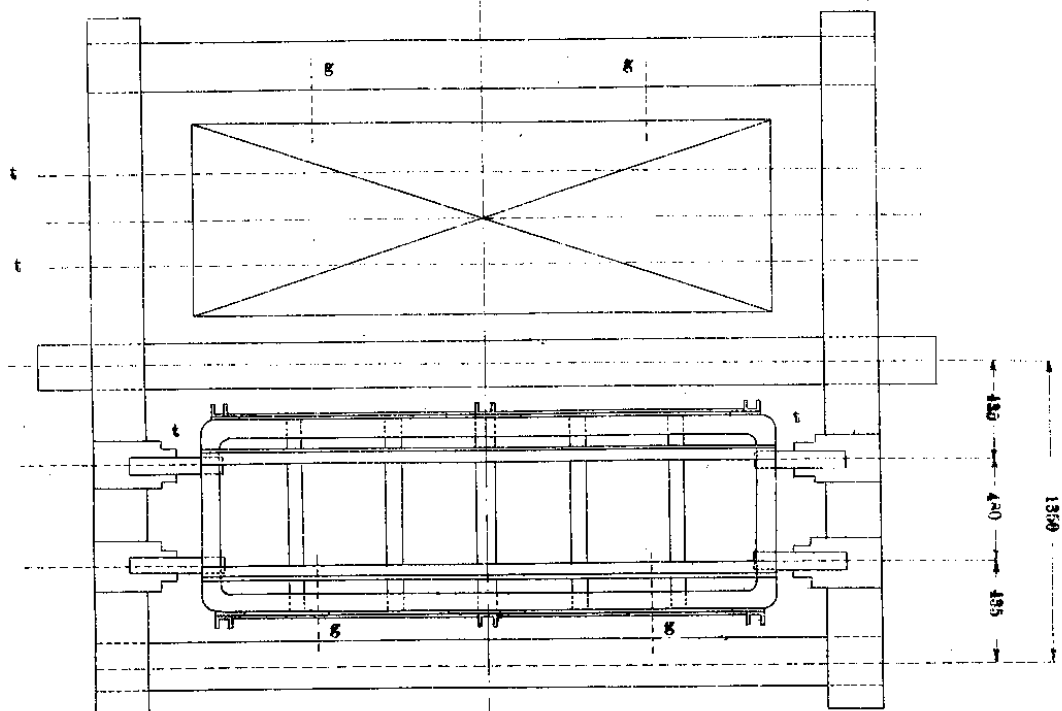
$$Q = P + G$$

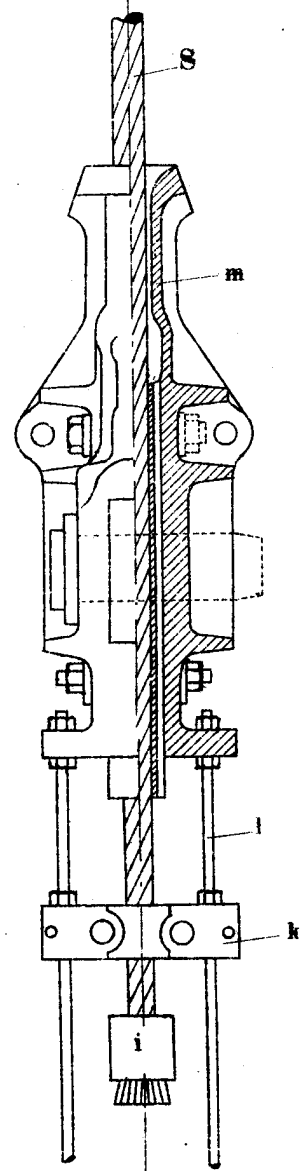
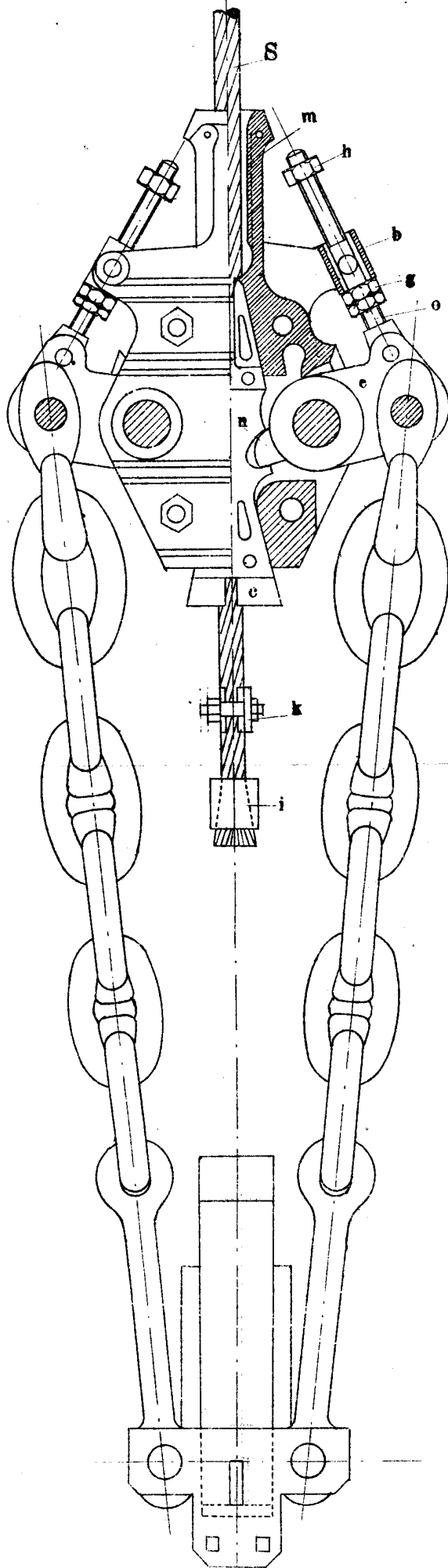


Черт. 6

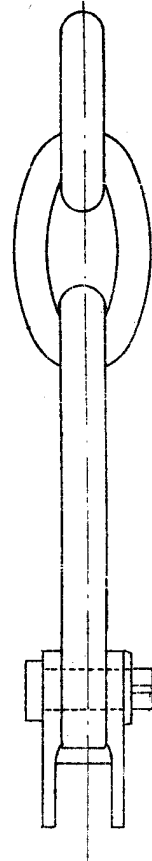


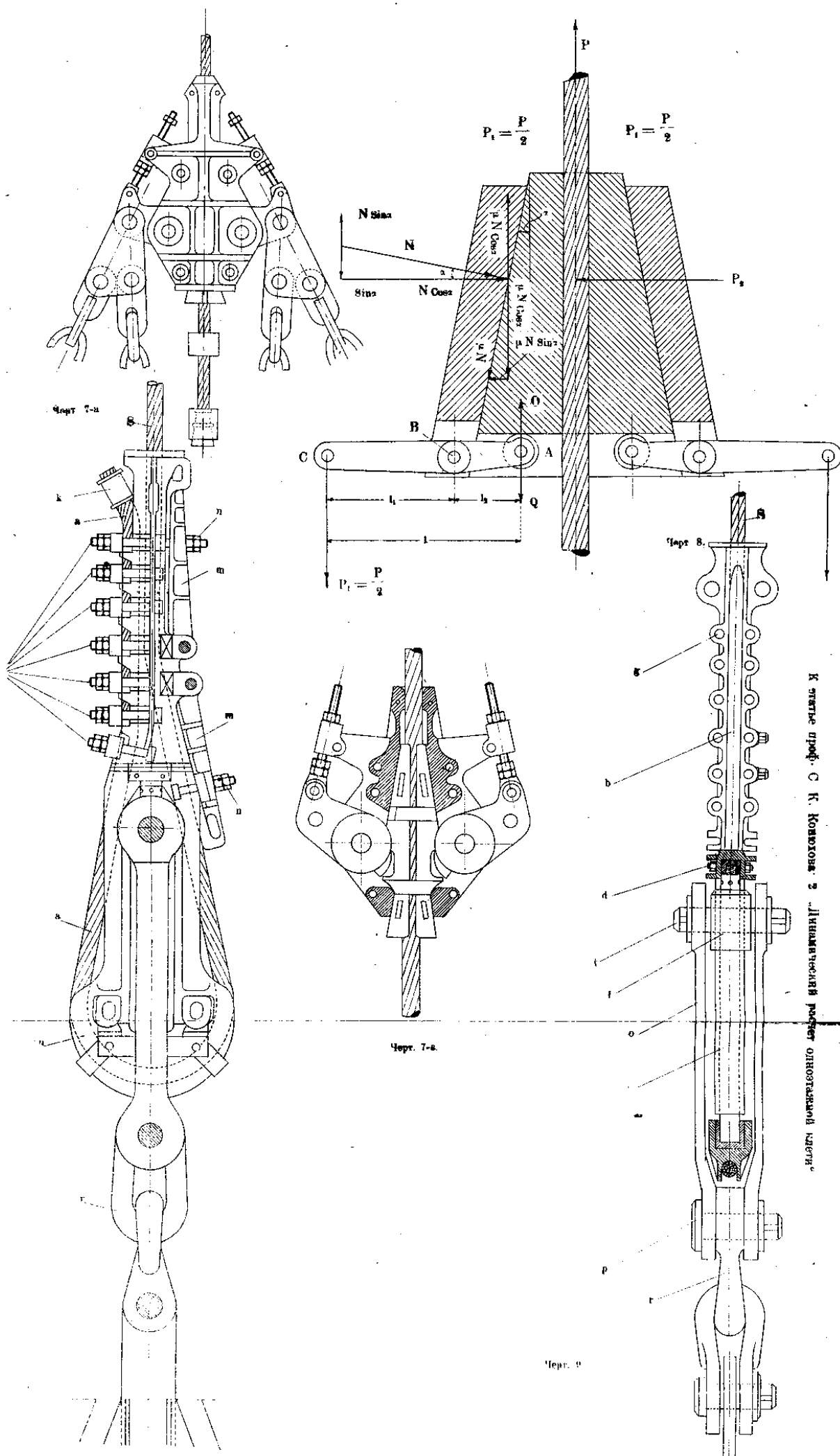
Черт. 5





Черт. 7.

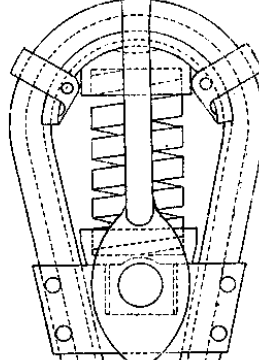
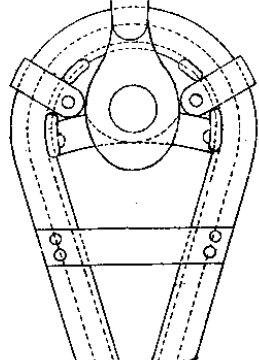
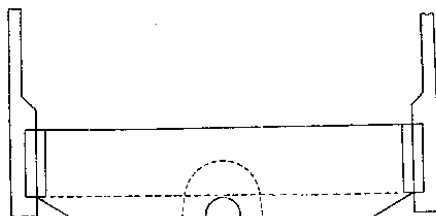
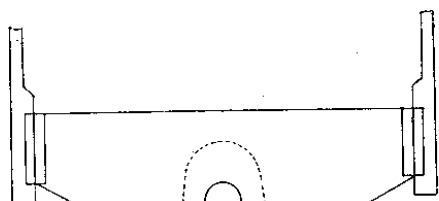




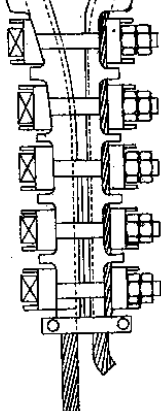
К станку проф. С. К. Корольков. 2. "Иллюстрированный pocket гидротехнический словарь"

Черт. 7-8.

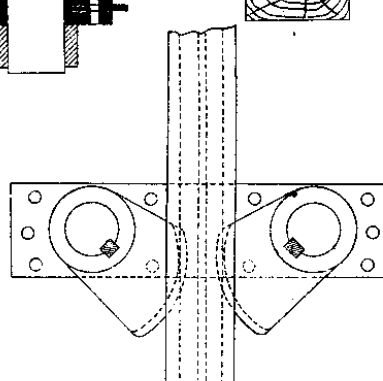
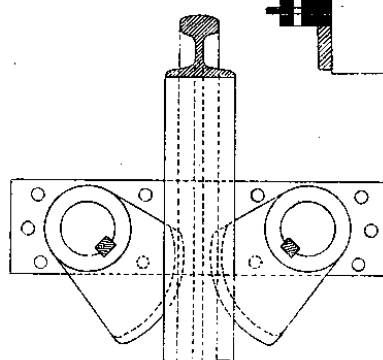
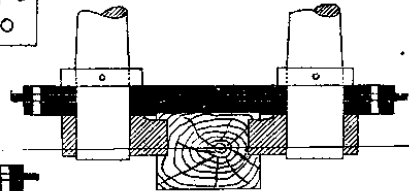
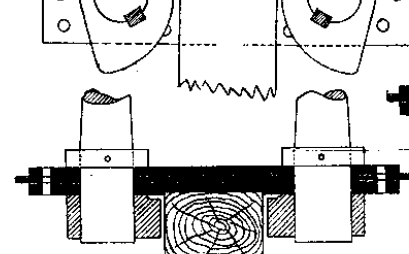
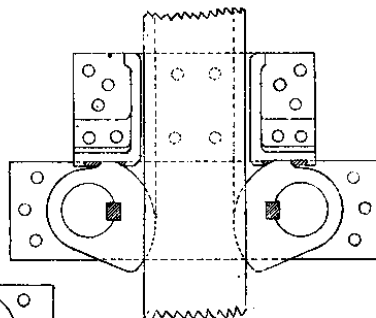
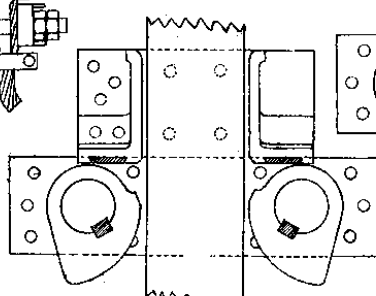
Черт. 9.



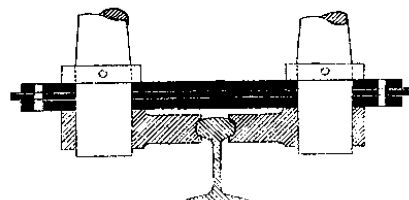
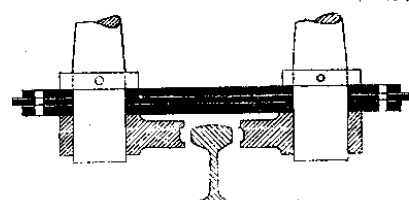
Черт. 10.

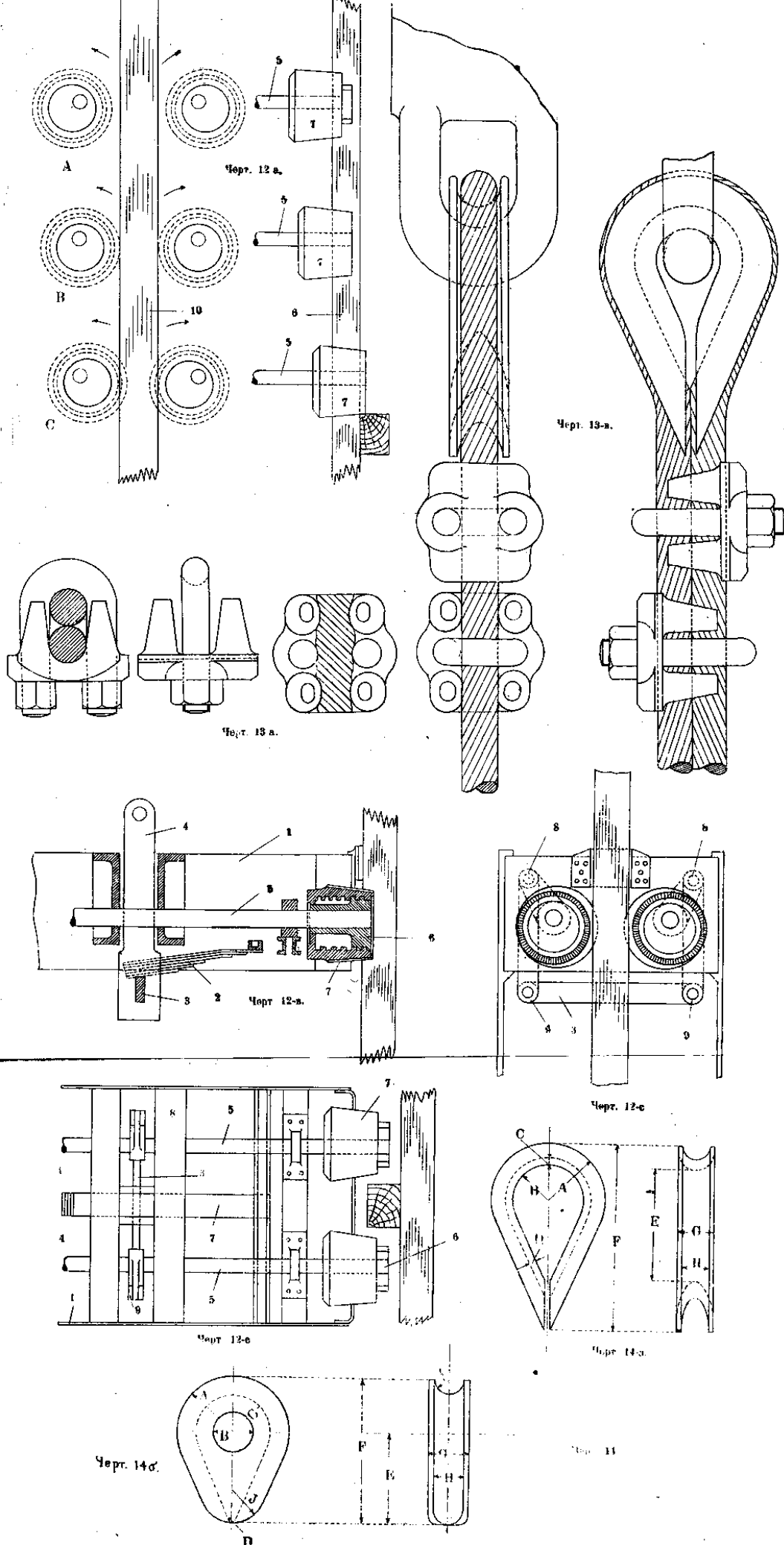


Черт. 11.



Черт. 11-а.





Теперь же дополним сведения о том, каким способом иногда достигается скрепление свободного конца каната после образования им петли с самим канатом.

На фиг. 13 и 13b дана конструкция американского зажима, при чем на черт. 13a этот зажим изображен отдельно, а на черт. 13b видно, как он применяется в деле. Конструкция зажима настолько проста, что не нуждается в пополнении. Эти зажимы отливаются из ковкого чугуна и их обычно берется от 4 до 6 штук.

На черт. 14 (а и б) показаны коуши: слева железный, а справа чугунный.

Для определения их размеров и очертаний можно пользоваться следующими таблицами.

Железный коуш для проволочных канатов

Диаметр каната мм.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
32	21	13	3	3	11	67	14	11	7	6	2
38	30	16	5	5	37	91	17	14	9	7	2
44.5	30	17	5	5	59	95	22	20	11	10	2
51	33	19	5	5	64	110	27	22	15	11	2
57—63.5	37	21	5	5	76	130	30	25	17	13	2
70—76	41	22	6	5	86	152	37	32	18	16	2
82.5—89	48	27	6	5	108	189	41	35	21	17	3
95—101.5	56	32	8	5	127	227	49	41	25	20	3
108—114.5	65	37	10	5	146	259	54	44	27	22	3
120.5—127	73	41	11	5	165	287	57	48	29	24	3

Чугунный коуш.

Диаметр каната мм.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
38	29	21	19	3	44	73	22	16	16	8
44	33	23	22	3	51	84	25	19	19	10
51	38	27	27	5	60	98	29	22	22	11
57—64	43	30	30	5	70	113	32	25	25	13
70—76	54	33	38	6	89	143	38	32	30	16
83—89	59	40	41	6	98	157	44	35	35	17
95—102	70	46	49	8	114	184	51	41	44	31
108—114	76	52	54	8	124	200	54	44	44	22
121—127	81	75	57	10	130	214	57	48	48	24