

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	2
1. Методы производства работ при монтаже технологического оборудования	4
2. Производство работ мачтовыми подъемниками .....	5
3. Монтаж оборудования самоходными стреловыми кранами .....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	43
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	44

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из основных важнейших вопросов на промышленном предприятии в настоящее время является монтаж технологического оборудования. От того как правильно проведены монтажные работы, будут зависеть сроки освоения выпуска новых видов продукции и работоспособность технологического оборудования.

Монтаж (ГОСТ 23887-79) – установка изделия или его составных частей на месте использования. К механомонтажным относятся работы по монтажу технологического, энергетического, подъемно-транспортного и нестандартного оборудования, трубопроводов и металлоконструкций.

Монтаж оборудования – комплекс работ, включающих сборку машин и оборудования, их установку на фундамент или в рабочее положение на предусмотренном проектом месте, сборку и соединение в технологические линии и установки, испытания на прочность и плотность для аппаратов, на холостом ходу и под нагрузкой для машин, опробованию и пуску отдельных аппаратов или группы аппаратов, связанных единым технологическим процессом. Могут выполняться также вспомогательные, подготовительные и пригоночные операции, не выполненные по каким-либо причинам при изготовлении.

К монтажным относят следующие работы: проверка фундаментов и приемка их под монтаж; установка фундаментных болтов и закладных частей; проверка комплектности оборудования и приемка его в монтаж; разборка оборудования, его очистка от консервирующей смазки, промывка, осмотр частей и их смазка; укрупнительная сборка оборудования, поставляемого частями; перемещение оборудования или его узлов и деталей в пределах монтажной зоны; установка оборудования в проектное положение (основные такелажные работы); установка прокладок; выверка и крепление к фундаментам; сборка и установка входящих в состав поставки оборудования металлических конструкций, трубопроводов, арматуры, вентиляторов, насосов;

контрольно-измерительной и пускорегулирующей аппаратуры; ограждений; систем смазки и охлаждения.

Среди монтажных работ ведущими технологическими процессами являются сборка оборудования и узлов, установка в проектное положение с требуемой точностью и последующее закрепление на фундаментах. Эти процессы во многом определяют качество монтажа машин и аппаратов, стабильность их проектного положения в технологических линиях и установках, а также надежность при эксплуатации.

## **1. Методы производства работ при монтаже технологического оборудования**

Методы производства работ при монтаже технологического оборудования весьма разнообразны и определяются:

- типом грузоподъемного механизма и техническими параметрами (габаритами, массой) монтируемого оборудования;
- принятой технологией (особенностями пространственного перемещения) при установке оборудования в проектное положение.

В зависимости от типа основного грузоподъемного механизма существуют следующие методы монтажа: 1) мачтовыми подъемниками (мачтами, шеврами, порталами); 2) самоходными стреловыми кранами (одним или двумя, при работе кранов на месте или с передвижением, с изменением или без изменения вылета крюка); 3) башенными, козловыми, мостовыми кранами; 4) гидравлическими подъемниками; 5) полиспастами, закрепленными к существующим строительным конструкциям.

В зависимости от условий пространственного перемещения поднимаемого оборудования различают следующие основные методы монтажа: 1) метод скольжения опорной части аппарата с отрывом или без отрыва опорной части от грунта, с оттяжкой низа аппарата перед установкой на фундамент или без оттяжки; 2) метод поворота оборудования вокруг неподвижно закрепленного (либо скользящего) шарнира; 3) безъякорные методы.

Безъякорные методы являются разновидностями метода поворота вокруг шарнира. К ним относятся: 1) метод монтажа с помощью самомонтирующегося портала (или шевра); 2) метод выжимания скользящей по рельсам подпоркой (или порталом); 3) метод выталкивания с помощью гидравлического подъемника.

## 2. Производство работ мачтовыми подъемниками

В тех случаях, когда габариты и масса цилиндрических аппаратов (тарельчатых и насадочных колонн, скрубберов, реакторов, выпарных аппаратов и т.д.) сравнительно невелики, для их монтажа применяют самоходные стреловые краны.

Для монтажа тяжелых и высоких аппаратов, если невозможно применить краны из-за недостаточных грузовысотных характеристик или стесненных условий монтажной площадки, применяют мачтовые подъемники (мачты, порталы, шевры).

Монтаж мачтами производится следующими основными методами: методом скольжения с отрывом аппарата от земли с оттяжкой низа аппарата или без оттяжки; методом скольжения без отрыва аппарата от земли с подтаскиванием низа аппарата при заводке на фундамент; методом поворота вокруг шарнира.

Методы различаются характером передвижения аппарата в процессе подъема из горизонтального положения в вертикальное.

Подъем в зависимости от характеристик монтируемого оборудования и условий монтажа производят одной, двумя или, в некоторых случаях, четырьмя попарно соединенными мачтами (наклонными или вертикально стоящими). Если мачта имеет достаточные грузоподъемность и высоту, то аппараты устанавливают одной мачтой. Однако при подъеме аппаратов большого веса и диаметра, а также при наличии высокого фундамента наводить и устанавливать аппарат на анкерные болты одной мачтой довольно сложно. Поэтому в таких случаях используют спаренные мачты. Необходимость в наклоне мачт (который составляет  $9\div 12^\circ$  к вертикали) определяется длиной поднимаемого аппарата, его расположением по отношению к фундаменту, расположением и высотой мачт, принятой схемой строповки.

При монтаже методом скольжения с отрывом аппарата от земли двумя вертикальными мачтами (рис. 1) аппарат укладывают перед фундаментом,

причем положение его (люков, штуцеров и т.д.) должно быть таким, чтобы после подъема он занял правильное положение.

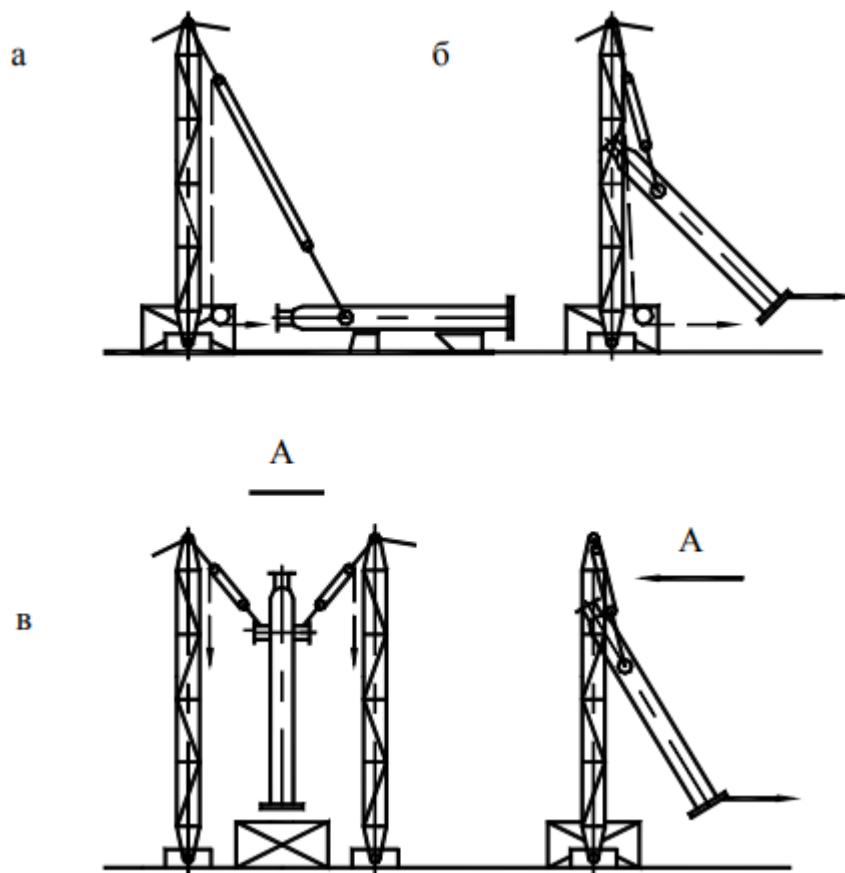


Рисунок 1 – Схема подъема аппаратов методом скольжения двумя вертикальными мачтами  
(а – в) – этапы подъема

Спаренные мачты, оснащенные грузовыми полиспастами, устанавливают вертикально и симметрично по обе стороны фундамента так, чтобы поднятый над фундаментом аппарат расположился строго по оси фундамента. В вертикальном положении мачты удерживаются гибкими вантами.

Строповку аппарата осуществляют за монтажные штуцера, которые располагаются выше центра массы аппарата с таким расчетом, чтобы отклонение от вертикали в поднятом положении не превышало  $10\div 15$  градусов. Сбегающие ветви грузовых полиспастов через отводные ролики направляют к барабанам лебедок.

Для придания необходимой траектории движения колонны при подъеме, а также для предотвращения ее раскачивания и вращения низ аппарата

удерживают оттяжным канатом. По мере подъема оттяжной канат, свободный конец которого крепят к барабану лебедки, отпускают или, наоборот, подтаскивают низ аппарата по направлению к фундаменту.

Убедившись в надежности такелажной оснастки и проверив работу всех механизмов, включают тяговые лебедки и начинают подъем. Приподняв верхнюю часть аппарата примерно на 200 мм, выключают лебедки и осматривают элементы такелажной оснастки и строповку аппарата. Убедившись в полной исправности строповки и такелажной оснастки, вновь включают тяговые лебедки. Аппарат начинает передвигаться, при этом его опорная часть скользит по заранее подготовленному основанию – на санях (тележках) или металлических листах.

По мере подъема верхней части аппарата низ придерживают тормозной оттяжкой, постепенно ослабляя ее для перемещения аппарата в сторону фундамента. Далее, работая грузовыми лебедками, отрывают колонну от земли и, постепенно ослабляя тормозную оттяжку, приводят аппарат в вертикальное положение и поднимают несколько выше фундамента. Включением реверса грузовых полиспастов плавно опускают аппарат на фундамент. В момент отрыва аппарата от земли замеряют (контролируют) усилия (рис. 2) в грузовых полиспастах ( $T$  и  $T_1$ ), тормозной оттяжке ( $Q_{10}$ ), задней и боковой вантах ( $Q_5$  и  $Q_6$ ), а также положение аппарата относительно мачт ( $d$ ,  $f$ ,  $h$ ).

При выполнении работ двумя вертикальными мачтами с оттяжкой груза необходимо обеспечить:

- соответствие конструкции мачт, типоразмеров такелажной оснастки расчетным нагрузкам;
- необходимые зазоры между поднимаемым оборудованием и конструкцией мачты (не менее 500 мм), между сбегавшей нитью полиспаста и конструкциями;
- определенное расстояние от основания мачт до якорей (на 6 м больше высоты монтажного устройства);

- применение мачт с шаровой пятой либо учет крутящих моментов, возникающих при отклонении грузовых полиспастов от вертикали при оттяжке груза;
- предварительное натяжение вант;
- пересечение расчетных усилий в оттяжке и полиспасте на вертикальной оси, проходящей через центр массы поднимаемого аппарата.

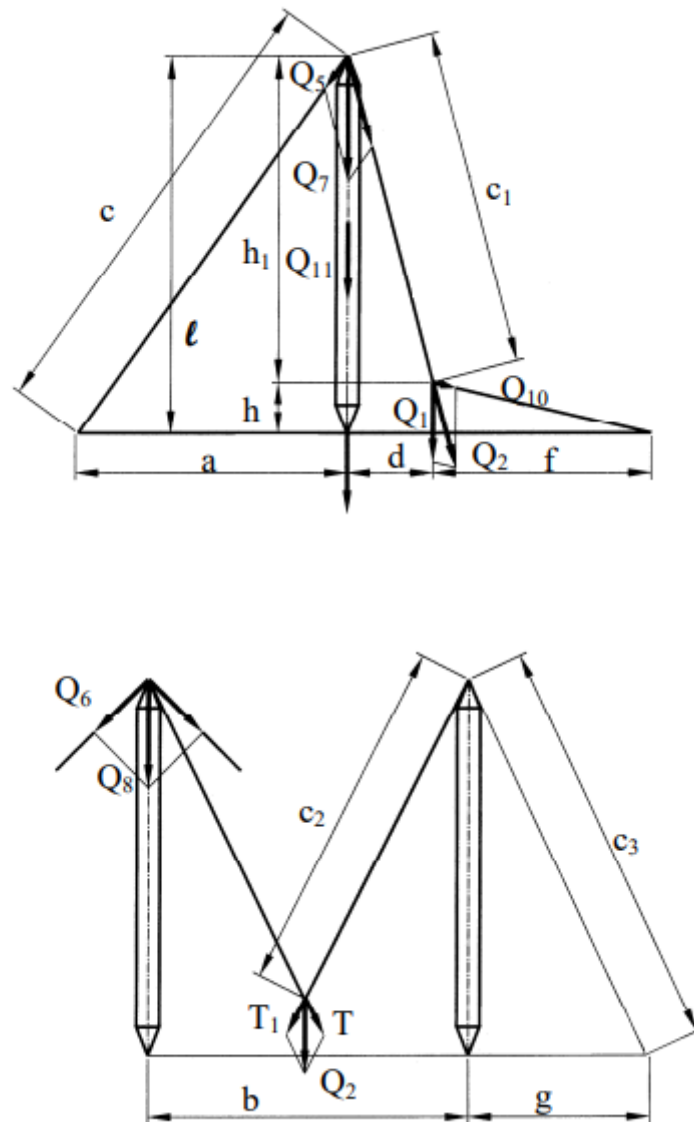


Рисунок 2 – Расчетная схема определения усилий в двух мачтах при подъеме груза с оттяжкой

Кроме того, необходимо обеспечить правильность подъема, т.е. не превышать максимально допустимый перекос, возникающий вследствие



возможной перегрузки одного из полиспастов. Перекос можно контролировать по отклонению низа аппарата при подъеме.

Основными расчетными нагрузками (рис. 2) являются:

- суммарная составляющая усилий в грузовых полиспадах

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{f \cdot c_1}{f \cdot h_1 - d \cdot h}$$

- усилия в грузовых полиспадах при симметричном подвесе груза относительно осей мачт

$$T = T_1 = Q_1 \cdot \frac{f \cdot c_2}{2(f \cdot h_1 - d \cdot h)}$$

- горизонтальная  $Q_3$  и вертикальная  $Q_4$  составляющие усилий в полиспасте  $T$  и  $T_1$ , действующих в плоскости полиспаста (на рис. 2 не показаны),

$$Q_3 = T \cdot \frac{\sqrt{d^2 + (b/2)^2}}{c_2}; \quad Q_4 = T_1 \cdot \frac{h_1}{c_2};$$

- усилие в задней ванте

$$Q_5 = Q_1 \cdot \frac{f \cdot d \cdot c}{2(f \cdot h_1 - d \cdot h) \cdot a}$$

- усилие в боковой ванте

$$Q_6 = Q_1 \cdot \frac{f \cdot b \cdot c_3}{4(f \cdot h_1 - d \cdot h) \cdot g}$$

- усилие в тормозной оттяжке

$$Q_{10} = Q_1 \cdot \frac{d \cdot \sqrt{h^2 + f^2}}{f \cdot h_1 - d \cdot h}$$

- суммарное усилие на основании мачты

$$\bar{Q}_{11} = \bar{Q}_4 + \bar{Q}_7 + \bar{Q}_8 + P_o + P_m,$$

где  $Q_7 = Q_5 \cdot \frac{l}{c}$  и  $Q_8 = Q_6 \cdot \frac{l}{c_3}$  – вертикальные составляющие усилий  $Q_5$  и  $Q_6$ ,

действующие по оси мачты;  $P_0 = S_1 \cdot \frac{l}{c} \cdot n$  – вертикальная составляющая от усилия предварительного натяжения (на рис. 2 не показана);  $P_m$  – вес мачты.

В приведенных выражениях приняты следующие обозначения:  $S_1$  – усилие предварительного натяжения одной ванты (на рис. 2 не показано);  $Q_1$  – расчетное усилие (вес груза и грузовых полиспастов);  $n$  – число вант на одной мачте;  $l$  – длина мачты;  $a$  – расстояние от оси мачты до якоря задней ванты;  $c$  – длина задней ванты ( $c = \sqrt{l^2 + a^2}$ );  $b$  – расстояние между осями мачт;  $g$  – расстояние от оси мачты до якоря боковой ванты;  $d, f, h$  – расстояние от точки пересечения осей полиспастов, оттяжки и веса груза соответственно до основания мачты, до якоря оттяжки и от земли;  $h_1 = l - h$ ;  $c_1 = \sqrt{d^2 + h_1^2}$ ;  $c_2 = \sqrt{c^2 + (b/2)^2}$ ;  $c_3 = \sqrt{l^2 + g^2}$  – длина боковой ванты.

При монтаже колонных аппаратов методом поворота вокруг шарнира аппарат укладывают опорной частью к фундаменту и закрепляют в шарнире (рис. 3). Этот способ монтажа обычно применяется для подъема аппаратов колонного типа, металлических дымовых труб и высотных металлоконструкций, располагающихся на невысоких фундаментах (до 2 м), в связи со сложностью установки поворотных шарниров и соединения с ними поднимаемого оборудования на высоте. Подъем методом поворота вокруг шарнира имеет следующие преимущества: а) максимальные нагрузки, возникают в такелажной оснастке в начальный момент подъема, что повышает безопасность такелажных работ; б) вес поднимаемого оборудования может значительно превышать грузоподъемность такелажных средств.



Дальнейший подъем выполняют с периодическими остановками через каждые  $15 \div 20^\circ$ . Перед моментом подхода аппарата к положению неустойчивого равновесия натягивают тормозной канат, который постепенно ослабляют при дальнейшем движении аппарата.

Применение этого способа подъема рекомендуется в том случае, когда высота мачт превышает высоту поднимаемого оборудования. Взаимное расположение мачт и поднимаемого оборудования может быть выполнено по двум вариантам.

Первый вариант. Мачты устанавливаются за поворотным шарниром (рис. 3а). В этом случае оборудование поднимается до нейтрального положения в один этап и далее с помощью тормозной оттяжки плавно опускается на фундамент в проектное вертикальное положение под действием собственной силы тяжести.

Второй вариант. Мачты устанавливаются между поворотным шарниром и центром массы поднимаемого аппарата (рис. 3б). В этом случае оборудование поднимается в два этапа: вначале с помощью мачт на максимально возможный угол, а затем дотягивающей системой до положения неустойчивого равновесия и, наконец, опускается в проектное положение тормозной оттяжкой. При этом варианте снижаются нагрузки на мачты, полиспасты и рабочие ванты по сравнению с первым вариантом. Одиночная мачта при втором варианте устанавливается рядом с поднимаемым аппаратом и наклоняется с расчетом расположения полиспаста в плоскости подъема аппарата.

Особенности этих вариантов являются основой для выбора одного из них. При выборе места строповки оборудования необходимо исходить из следующих соображений:

а) учитывая в первую очередь соблюдение прочности корпуса аппарата или поднимаемой конструкции от действия собственной силы тяжести, наиболее целесообразным местом строповки (при расположении центра масс посередине поднимаемого аппарата) будет место на расстоянии  $2/3$  высоты аппарата от его основания;

б) при необходимости снижения нагрузок на такелажную оснастку рекомендуется стропить оборудование ближе к его вершине; при использовании парных мачт строповку оборудования следует выполнять с помощью балансированной траверсы, уравнивающей нагрузку на оба полиспаста.

Для парных мачт, установленных за поворотным шарниром (рис. 3а), расчетное усилие в грузовом полиспасте при любом угле подъема аппарата  $\varphi$  можно определить из выражения

$$Q_n = \frac{P \cdot l \cdot \cos(\varphi + \nu)}{2 \cdot (H \cdot \sin \beta - h_\phi \cdot \sin \beta - l_{ш} \cdot \cos \beta)}$$

Это же усилие для мачт, установленных между поворотным шарниром и центром массы аппарата (рис. 3.3б):

$$Q_n = \frac{P \cdot l \cdot \cos(\varphi + \nu)}{2 \cdot (H \cdot \sin \beta - h_\phi \cdot \sin \beta + l_{ш} \cdot \cos \beta)}$$

где  $P$  – вес поднимаемого аппарата;  $l$  – расстояние между шарниром и центром массы аппарата  $l = \sqrt{l_{ш}^2 + r^2}$ ;  $l_{ш}$  – расстояние от основания аппарата до центра его массы;  $r$  – радиус аппарата;  $H$  – высота мачты;  $l_{ш}$  – расстояние от оси шарнира до плоскости установки парных мачт;  $h_\phi$  – высота фундамента;  $\nu$  – угол между образующей аппарата и линией, соединяющей шарнир с его центром масс.

Усилие в полиспасте  $Q_n$  для одиночной мачты в 2 раза больше.

Угол  $\beta$  между мачтой и грузовым полиспастом определяются графически путем построения схемы подъема в масштабе или по формуле:

$$\begin{aligned} \text{– для схемы на рис. 3а} \quad \operatorname{tg} \beta &= \frac{l_c \cdot \cos \varphi + l_{ш}}{H - h_\phi - l_c \cdot \sin \varphi} \\ \text{– для схемы на рис. 3б} \quad \operatorname{tg} \beta &= \frac{l_c \cdot \cos \varphi - l_{ш}}{H - h_\phi - l_c \cdot \sin \varphi} \end{aligned}$$

где  $l_c$  – расстояние от основания аппарата до места его строповки.

По усилию  $Q_n$  рассчитывают грузовой полиспаст (т.е. подбирают полиспастные блоки; определяют диаметр роликов в блоке и их количество; находят усилие в сбегающей ветви полиспаста, по которому подбирают лебедку; подсчитывают диаметр и длину каната для оснастки полиспаста), а также подбирают тип и диаметр каната для гибкого стропа.

Усилие в задней ванте  $Q_в$  независимо от места расположения мачт:

$$Q_в = Q_n \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}$$

где угол  $\gamma$  (между мачтой и вантой) определяется графически или из выражения  $tg \gamma = \frac{l_я}{H}$  ( $l_я$  – расстояние от мачты до якоря ванты).

По усилию  $Q_в$  подбирают тип и диаметр каната для задней ванты и рассчитывают якорь для нее (т.е. определяют вес якоря или усилия в анкерных болтах и проверяют устойчивость якоря против горизонтального сдвига и опрокидывания).

Усилие в тормозной оттяжке определяется из выражения

$$T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot h_m \cdot \cos \omega}$$

Где  $D$  – диаметр аппарата;  $h_m$  – расстояние от оси шарнира до точки крепления тормозной оттяжки;  $\omega$  – угол между тормозной оттяжкой и горизонталью.

Суммарное усилие, действующее по оси мачты:

$$N = Q_n \cdot \cos \beta + (Q_в + n \cdot S_0) \cdot \cos \gamma + S_n + P_m$$

Где  $n$  – количество вант мачты, кроме рабочей (задней);  $S_0$  – усилие предварительного натяжения вант, равное 10÷30 кН (на схеме рис. 3 не показано);  $S_n$  – усилие в сбегающей ветви полиспаста ( $S_n = Q_n(1 - \eta)/(1 - \eta^m)$ ,  $\eta$  – к.п.д. одного ролика в полиспасте;  $m$  – кратность полиспаста);  $P_m$  – вес мачты.

По усилию  $N$  проверяют прочность и устойчивость мачты на сжатие.

При установке мачт по варианту, представленному на рис. 3б рассчитывают дотягивающую систему для подъема аппарата на втором до

положения неустойчивого положения. С этой целью определяют максимальное усилие  $F$ , задаваясь  $\alpha$  – углом наклона дотягивающей системы к горизонту.

Кроме рассмотренных схем подъема цилиндрических аппаратов мачтами, используют также следующие варианты методов скольжения и поворота вокруг шарнира: 1) двумя наклонными мачтами с оттяжкой груза или без нее (рис. 4а); 2) с помощью одной наклонной или вертикальной мачты со строповкой за верх аппарата (рис. 4б) или за корпус (рис. 4в); 3) качающимися (одной или двумя) мачтами (рис. 4г); 4) в качестве мачты используется ранее установленный аппарат (рис. 4ж); 5) монтаж вертикальной мачтой при ее симметричном нагружении (рис. 4з); 6) монтаж аппаратов наклоняющимися («падающими») мачтами и шеврами (рис. 4и); 7) монтаж аппаратов методом скольжения без отрыва от земли (рис. 4к); 8) монтаж наклонной мачтой с вантой, закрепленной к строительным конструкциям, причем ванта может крепиться выше, ниже или на уровне оголовка мачты.

Каждая из перечисленных схем подъема аппарата обусловлена определенными факторами: взаимным расположением мачт, фундамента и аппарата перед подъемом; высотой установки аппарата; отношением высоты мачты к высоте аппарата.

Если высота и грузоподъемность мачты достаточны, то аппарат можно поднять и установить одной мачтой со строповкой за верх аппарата (рис. 4б). Если недостаточна только высота мачты, то аппарат может быть поднят со строповкой за корпус выше центра массы (рис. 4в). При большой высоте колонны для снижения центра массы аппарата и соответственно места строповки применяют дополнительный груз в нижней части колонны. В результате представляется возможным использовать мачты определенной грузоподъемности, но небольшой длины.

Иногда аппарат по ряду причин не удается перед подъемом уложить близко к месту установки. Поэтому требуется значительное усилие оттяжки аппарата, что приводит к большим перегрузкам мачт и оттяжек. В таких случаях целесообразно применять схему подъема одной или двумя

качающимися мачтами (рис. 4г). Сущность заключается в том, что в начале подъема мачты наклонены в сторону лежащего аппарата. После отрыва аппарата от земли с помощью полиспастов, установленных на вантах, мачты вместе с висящим аппаратом приводят сначала в вертикальное положение, а затем наклоняют в сторону фундамента. При подъеме нескольких рядом устанавливаемых аппаратов эта схема монтажа дает значительный экономический эффект, так как отпадает необходимость перемещения мачт, что сокращает трудовые затраты и продолжительность монтажа.

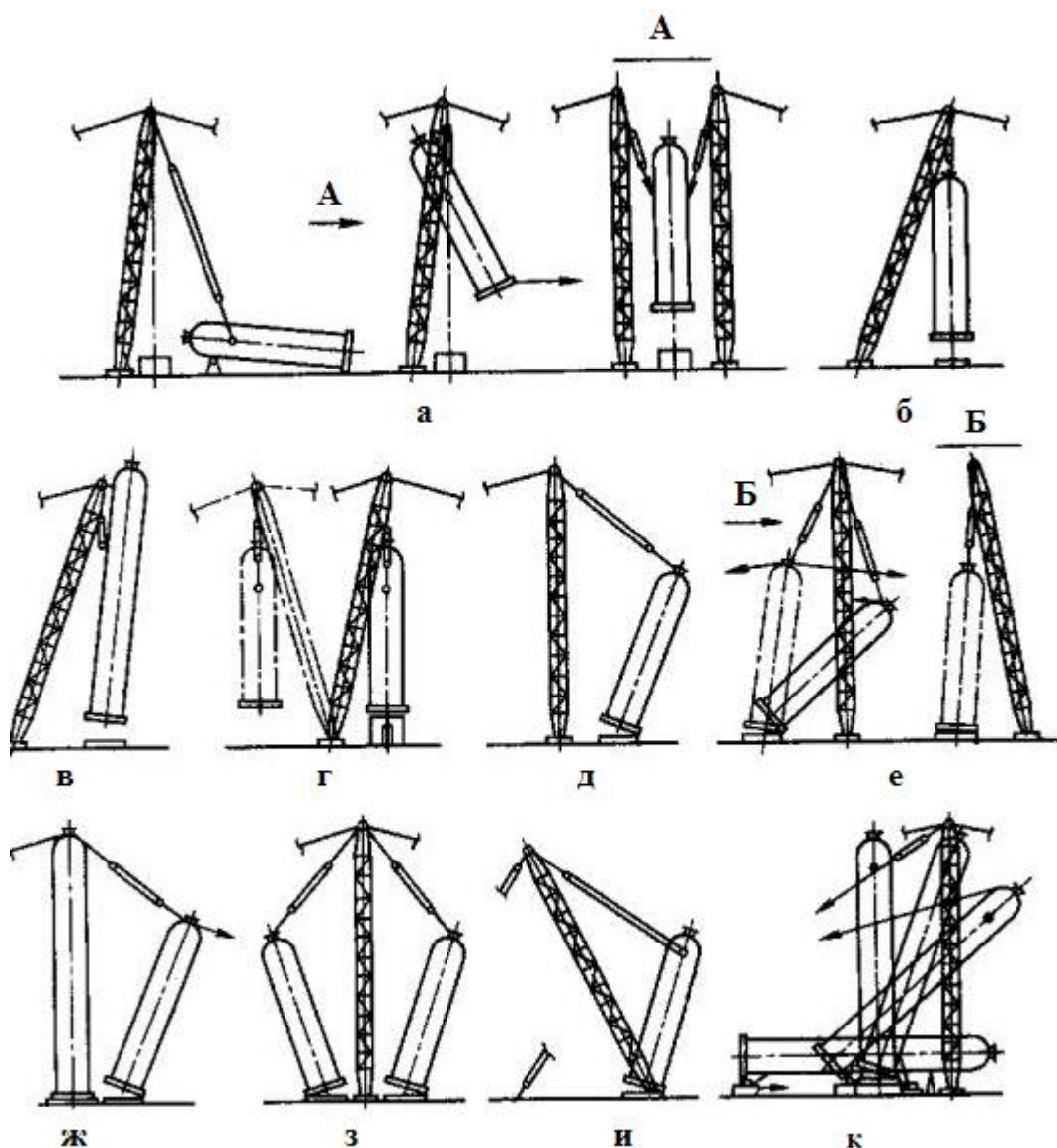


Рисунок 4 – Схемы монтажа вертикальных аппаратов мачтами:

а, б, в, г – методом скольжения с отрывом от земли; д, е, ж, з, и – методом поворота вокруг шарнира; к – методом скольжения без отрыва от земли



На рис. 4ж представлена схема подъема, когда в качестве мачты используется ранее установленный аппарат, предварительно снабженный грузовым полиспастом и вантами. Этот метод весьма эффективен, так как уменьшает расходы, связанные с установкой и демонтажом мачт.

При монтаже двух аппаратов, стоящих рядом и близких по габаритам и массе, целесообразно применять метод одновременного подъема этих двух аппаратов одной или двумя мачтами (рис. 4з). Благодаря симметричной нагрузке мачта работает только на сжатие без изгибающих моментов; в результате можно использовать такелажную оснастку меньшей грузоподъемности. Так, при грузоподъемности мачты 50 т и высоте 35 м можно поднять одновременно два аппарата общей массой 160 т и высотой до 50 м.

При монтаже по схеме, показанной на рис. 4и, «падающую» мачту укрепляют на опорной части аппарата и устанавливают вертикально или с небольшим наклоном в сторону верха аппарата. Вершину мачты канатом соединяют с верхом аппарата (длина этого каната остается при подъеме постоянной) и с тяговым механизмом. При натяжении каната мачта наклоняется и тянет за собой аппарат; когда мачта переместится в горизонтальное положение («упадет»), поднимаемый аппарат установится вертикально. При подходе к положению неустойчивого равновесия движение аппарата замедляют тормозной оттяжкой. При большой массе аппарата целесообразно поднимать его А-образным «падающим» шевром.

При подъеме колонны методом скольжения без отрыва от земли (рис. 4к) опорную часть колонны сначала подтаскивают к фундаменту, а затем поднимают поворотом в шарнирном устройстве. Поскольку при скольжении нагрузки на такелажные средства значительно меньше силы тяжести аппарата, то, как и при работе по методу поворота вокруг шарнира, удастся использовать такелажные средства грузоподъемностью меньше массы монтируемого аппарата. Следует отметить, что при монтаже методом поворота вокруг шарнира в начальный момент возникают значительные горизонтальные нагрузки, передающиеся через шарнир на фундамент, что в ряде случаев

недопустимо. При использовании метода скольжения без отрыва от земли такие нагрузки не возникают, так как в шарнир аппарат устанавливают в наклонном положении. При подъеме аппарата его нижнюю часть на тележке или санях перемещают к фундаменту и далее, используя в качестве опоры прикрепленную к аппарату ось, передвигают по фундаменту до соединения с пятой поворотного шарнира, предварительно закрепленного около фундамента. После соединения оси в шарнире аппарат поворачивают до проектного положения.

Преимущества метода скольжения по сравнению с методом поворота вокруг шарнира: простота и минимальные затраты на подготовительные работы и оснастку; возможность установки аппаратов на высокие фундаменты. Однако при работе по методу скольжения грузоподъемность монтажных механизмов должна быть равна массе аппарата или превосходить ее. Другой недостаток – нагрузка на такелажную оснастку максимальна только в конце подъема. В связи с этим для обеспечения безопасных условий труда монтажников к такелажной оснастке предъявляют повышенные требования.

Метод поворота вокруг шарнира наиболее эффективен при подъеме отдельно стоящих тяжелых аппаратов, устанавливаемых на низкие фундаменты. Преимущества этого метода: масса монтируемого аппарата может почти в 2 раза превышать грузоподъемность монтажных механизмов, что позволяет расширить область применения грузоподъемного оборудования; требуется меньше такелажной оснастки; нагрузки на грузоподъемное оборудование, такелажную оснастку и поднимаемый аппарат максимальна в начальный момент подъема. Последнее обстоятельство позволяет обезопасить труд монтажников, так как грузоподъемное оборудование и оснастку можно испытать уже в начале монтажа аппарата. Недостатки метода: относительно высокие затраты на подготовительные и вспомогательные работы, связанные с изготовлением и установкой дорогостоящего шарнира, с применением специальных разъемных анкерных болтов; невозможность установки аппаратов на высокие (более 1÷2 м) фундаменты.

Портал по сравнению с мачтами обладает большей грузоподъемностью. Преимуществами метода монтажа порталами являются возможность перемещения монтируемого оборудования в плоскости портала и некоторое уменьшение такелажной оснастки. Монтаж порталами удобен при установке большого числа аппаратов в один ряд.

При монтаже порталами можно использовать метод скольжения (рис. 5а), метод поворота вокруг шарнира, безъякорный метод. Один из основных недостатков портала – ограничение высоты монтируемого оборудования высотой портала. Этому недостатка можно избежать, применив схему подъема, показанную на рис. 5б, при этом высота портала составляет  $0,55 \div 0,65$  высоты аппарата. Строповку осуществляют не по оси аппарата, как обычно, а за строповочную консоль, расположенную сбоку аппарата, немного выше его центра масс, и закрепляемую на корпусе аппарата с помощью бандажей. Консоль обеспечивает выведение аппарата при его повороте в вертикальной плоскости из пространства, занимаемого порталом.

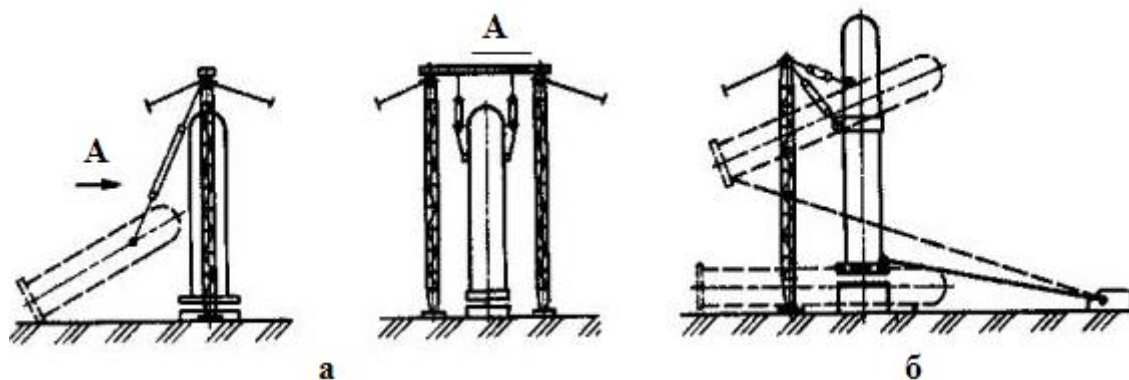


Рисунок 5 – Схемы монтажа аппарата порталом:

а – методом скольжения с отрывом от земли; б – с использованием консоли

Сначала аппарат поднимают до высоты, несколько превышающей положение центра масс в рабочем состоянии аппарата. Затем аппарат оттягивают за нижнюю часть; при этом он поворачивается в вертикальной плоскости вокруг места строповки и выводится из плоскости портала. Длину консоли подбирают так, чтобы корпус аппарата при развороте не соприкасался с ригелем портала. Аппарат устанавливают на фундамент последовательными

операциями опускания и оттягивания. Такой способ монтажа требует точной установки опор портала относительно фундамента, в противном случае затруднена установка аппарата на анкерные болты.

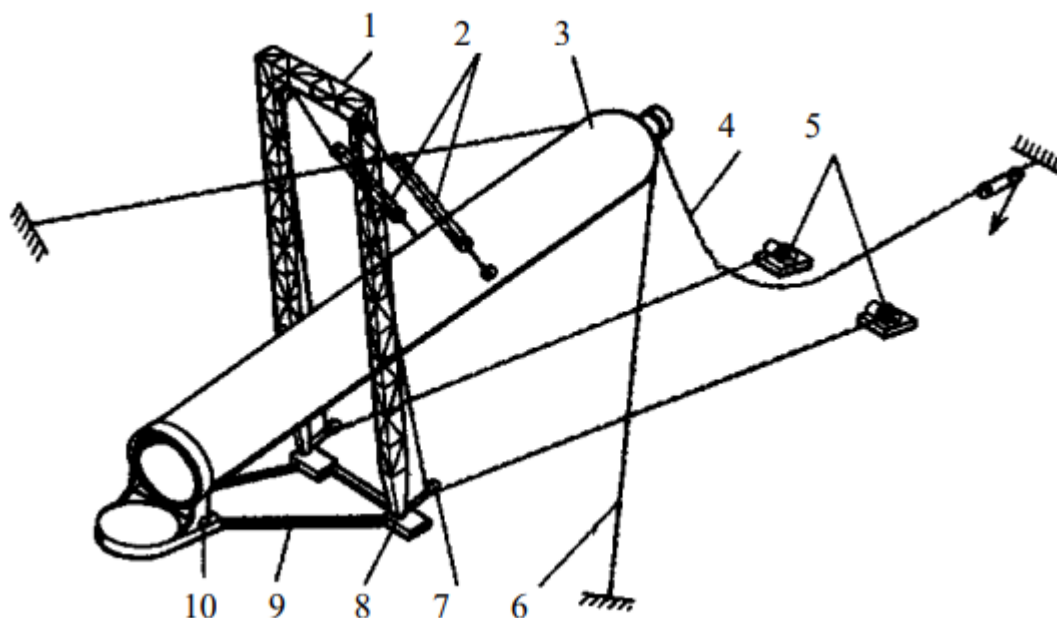


Рисунок 6 – Схема монтажа безъякорным методом

1 – портал; 2 – полиспасты; 3 – аппарат; 4 – тормозная оттяжка; 5 – лебедки; 6 – боковые ванты; 7 – отводные блоки; 8 – шарнирная опора; 9 – стяжка; 10 – поворотный шарнир

Сущность безъякорного метода монтажа с помощью самомонтирующегося портала заключается в следующем (рис. 6). Портал 1 поднимают из исходного горизонтального положения в наклонное полиспастами 2, используя поднимаемый аппарат 3 в качестве «якоря», который в начальный момент также находится в горизонтальном положении. При некотором угле подъема портала начинает подниматься аппарат. В процессе подъема аппарат и портал поворачиваются соответственно вокруг поворотного шарнира 10 и шарнирной опоры 8, соединенных между собой стяжкой 9. Стяжка служит для предотвращения горизонтального сдвига опор портала и перекоса оси поворотного шарнира в горизонтальной плоскости. Изготавливается стяжка из стального каната, проката или труб. Для подъема аппарата используют две лебедки 5, к барабанам которых через отводные блоки

7 крепятся сбегающие ветви полиспастов 2. При сокращении длины полиспастов аппарат постепенно поднимается, а портал совершает сложное движение. Сначала при малых углах подъема аппарата (до  $5\div 10^\circ$ ) в зависимости от соотношения масс портала и аппарата угол наклона портала к горизонту увеличивается (до  $70\div 85^\circ$ ), а затем уменьшается. Длина полиспаста уменьшается до тех пор, пока не будет достигнуто положение неустойчивого равновесия системы аппарат-портал. При подходе к этому положению включают тормозную оттяжку 4 и одновременно натягивают, при необходимости, боковые ванты 6 аппарата. После установки аппарата в вертикальное положение его закрепляют на фундаментных болтах, а портал опускают в исходное положение включением реверса лебедок. Таким образом, процесс установки оборудования безъякорным способом состоит из трех этапов:

- самоподъем портала до момента начала подъема аппарата;
- подъем аппарата с одновременным опусканием портала;
- доводка аппарата в проектное положение с одновременным опусканием портала.

Кинематическая схема безъякорного способа подъема представляет собой четырехзвенный механизм, у которого ведущее звено (грузовой полиспаст) имеет переменную длину, а остальными звеньями постоянной длины являются аппарат, земля и портал. Замкнутая система взаимно уравновешивающихся сил исключает действие горизонтальных нагрузок на фундамент поднимаемого аппарата.

Преимущества безъякорного метода подъема: отсутствие вант и якорей к ним; незначительное превышение габаритов монтажной площадки по сравнению с габаритами поднимаемого аппарата, что весьма важно при монтаже в стесненных условиях; отсутствие необходимости поднимать и устанавливать в рабочее положение мачтовые подъемники с помощью дополнительных кранов или такелажных средств; отсутствие горизонтальных монтажных нагрузок на фундамент. К недостаткам данного метода подъема

можно отнести: чувствительность системы к осадке опор портала; необходимость сооружения фундамента под опорные стойки портала при монтаже аппаратов свыше 250 т в связи с большими усилиями, возникающими в опорно-поворотном шарнире.

Расчетная схема безъякорного метода представлена на рис. 7.

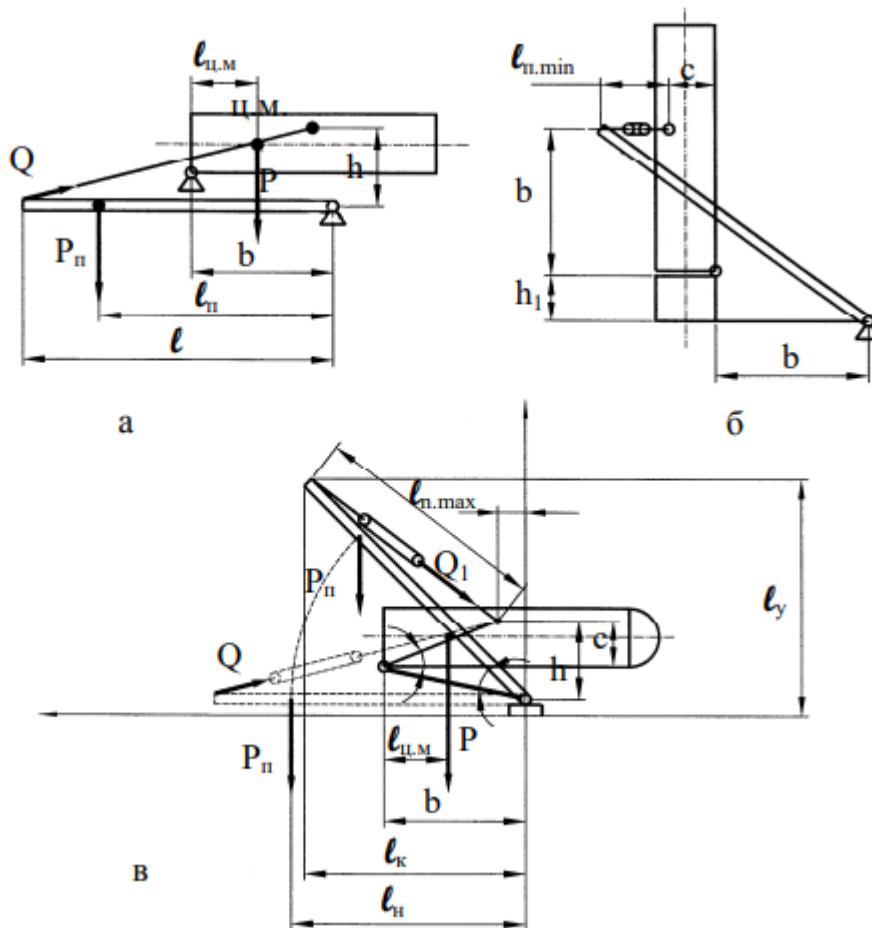


Рисунок 7 – Расчетная схема определения усилий в элементах такелажной оснастки

Угол наклона портала к горизонту (рис. 7в) в начальный момент подъема аппарата в случае  $\alpha = 0$  можно рассчитать по формуле

$$\alpha_0 = \arcsin \left[ \left( \frac{P \cdot l_{ц.м.} \cdot l}{P_n \cdot l_n \cdot b} + 1 \right) \cdot \frac{h \cdot b}{l \cdot \sqrt{c^2 + b^2}} \right] - \beta$$

где  $\beta = \arctg (c/b)$ .

Угол наклона аппарата к горизонту в момент неустойчивого равновесия системы аппарат-портал определяется из выражения

$$\varphi_1 = \arcsin \left( \frac{b \cdot h_1}{l^2} + \sqrt{\frac{P^2 \cdot \ell_{y.m.}^2 - P_n^2 \cdot \ell_n^2}{P^2 \cdot \ell_{y.m.}^2 - P_n^2 \cdot \ell_n^2 \cdot b^2 / l^2}} \right) - \beta.$$

Угол подъема  $\alpha_p$  портала при некотором угле наклона аппарата ( $\varphi = 0 \div 90^\circ$ ), когда система аппарат-портал находится в равновесии (так называемый равновесный угол подъема портала на второй стадии подъема), находится следующим образом (при любых значениях а):

$$\begin{aligned} & \sin(\varphi + \alpha_p) - A \cdot \cos \psi \left( \frac{\ell_o}{\ell} \cdot \cos \omega - \frac{b}{\ell} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha_p = \\ & = A \cdot \cos \psi \left( \frac{\ell_o}{\ell} \cdot \sin \omega + \frac{h_1}{\ell} \right) + \frac{b}{\ell} \cdot \sin \omega + \frac{h_1}{\ell} \cdot \cos \omega \end{aligned}$$

где  $A = (P \cdot \ell_{y.m.} \cdot \ell) / (P_n \cdot \ell_n \cdot \ell_o)$ ;  $\ell_o = \sqrt{c^2 + (b - a)^2}$ ;  $\beta = \operatorname{arctg} [c / (b - a)]$

Это уравнение решается методом последовательных приближений. Сначала вычисляют правую часть уравнения как не зависящую от величины  $\alpha_p$ . Затем рассчитывают левую часть уравнения при различных  $\alpha_p$ , добиваясь равенства правой и левой частей уравнения. По этому же уравнению можно найти  $\alpha_0$  в том случае, когда  $a \neq 0$ .

Усилие в грузовых полиспадах в начальный момент подъема портала, когда  $\alpha = 0$  и  $\varphi = 0$  (рис. 7а):

$$Q_0 = \frac{P_n \cdot \ell_n \cdot \sqrt{\ell^2 + h^2}}{\ell \cdot h}$$

Усилие в грузовых полиспадах для любого положения поднимаемого портала (аппарат находится в горизонтальном положении,  $\varphi = 0$ ) находится из выражения

$$Q = P_n \cdot \frac{\ell_n}{l} \cdot \frac{\sqrt{(\ell_x / h - a / h)^2 + (\ell_y / h - 1)^2}}{1 - a \cdot \ell_y / h \cdot \ell_x}$$

При  $a = 0$  (наиболее рациональная схема)

$$Q = P_n \cdot \frac{\ell_n}{l} \cdot \sqrt{\left(\frac{\ell_x}{h}\right)^2 + \left(\frac{\ell_y}{h} - 1\right)^2}$$

где  $l_x = l \cdot \cos \alpha$  и  $l_y = l \cdot \sin \alpha$  – проекции длины портала на горизонтальную и вертикальную плоскости.

Усилие в грузовых полиспастах при любом угле подъема аппарата  $\varphi$  может быть определено следующим образом:

$$Q_1 = \frac{P_n \cdot l_n \cdot \cos \alpha_p}{l \cdot \sin(\alpha_p - \gamma_1)}$$

где  $\gamma_1$  – угол наклона грузового полиспаста к горизонту, определяется по формуле

$$\gamma_1 = \arctg[(l \cdot \sin \alpha_p - l_0 \sin \omega - h_1)/(l \cdot \cos \alpha_p + l_0 \cos \omega - b)]$$

Если принять  $\alpha_p = \alpha_0$ , то получим усилия в полиспастах в начальный момент подъема аппарата, когда  $\varphi = 0$ .

В вышеприведенных уравнениях приняты следующие обозначения (рис.7):  $p$  и  $p_n$  – вес поднимаемого аппарата и портала соответственно;  $l_{ц.м.}$  – расстояние по оси аппарата от его шарнира до центра массы;  $l_n$  – расстояние по оси портала от его шарнира до центра массы портала;  $b$  – расстояние по горизонтали между шарнирами аппарата и портала;  $l$  – длина портала;  $h$  – расстояние по вертикали между точкой строповки аппарата и шарниром портала в исходном положении;  $h_1$  – высота фундамента под аппарат над шарниром портала;  $c$  – расстояние по вертикали от образующей аппарата до точки строповки ( $c = h - h_1$ );  $a$  – расстояние между вертикальной осью, проходящей через шарнир портала, и точкой строповки аппарата в исходном положении;  $\alpha$  – угол наклона портала к горизонту;  $\varphi$  – угол наклона аппарата к горизонту;  $\beta$  – угол между образующей аппарата и линией, соединяющей его шарнир с точкой строповки, в исходном положении;  $\omega = (\varphi + \beta)$  – угол, определяющий положение точки строповки в наклонном положении аппарата;  $\varepsilon = \arctg(r/l_{ц.м.})$  – угол между нижней образующей аппарата и линией, соединяющей его шарнир с точкой центра масс, в исходном положении;  $\psi = (\varphi + \varepsilon)$  – угол, определяющий положение центра масс в наклонном



положении аппарата;  $r$  – расстояние от шарнира аппарата до его центра массы по ширине аппарата;  $\gamma$  - угол наклона полиспада к горизонту.

При монтаже методом выжимания опора аппарата разрезается и снабжается поворотным шарниром. Нижняя часть опоры с половиной шарнира крепится к фундаменту, верхняя с другой половиной шарнира остается на аппарате. Перед подъемом аппарат краном подтаскивается к фундаменту, нижняя часть его заводится в поворотный шарнир (т.е. половины шарнира соединяются и вставляется ось), а верхняя приподнимается, насколько это возможно, и укладывается на временную опору, в качестве которой используются шпальная выкладка или металлические козлы.

Подъем аппарата 1 производится с помощью одной, двух или трех рамных опор 2 (подъемных подпорок) – рис. 8 и рис. 9. Верхний конец каждой подпорки шарнирно закреплен на аппарате, а нижний, перемещаясь, создает необходимое для подъема аппарата усилие. Для соединения верхнего конца подпорки с аппаратом выше его центра массы крепится или приваривается поворотная цапфа 3, находящаяся на уровне верхней образующей аппарата или выше ее. Рамная опора обеспечивает хорошую боковую устойчивость аппарата, поэтому боковые ванты обычно не применяют.

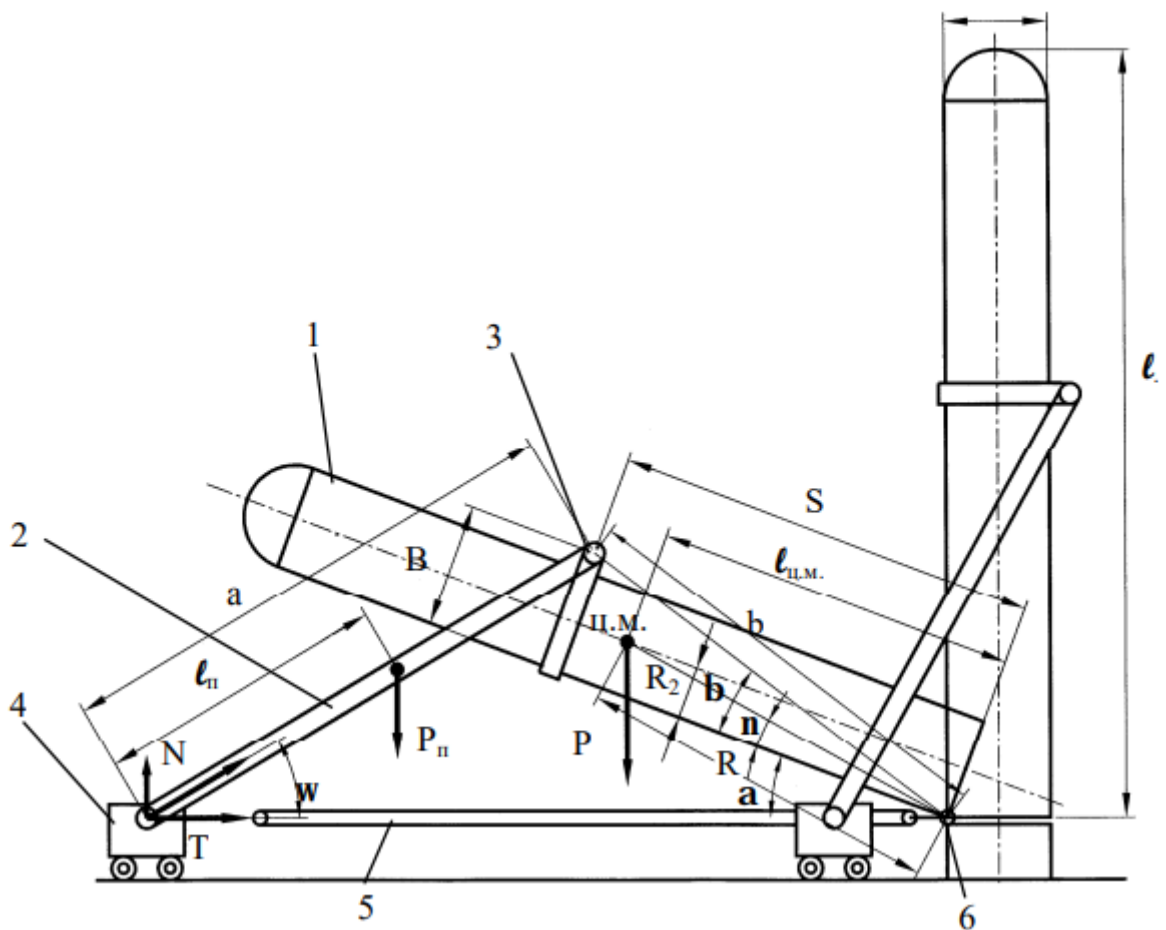


Рисунок – 8. Расчетная схема для определения усилий при подъеме аппарата одной рамной опорой (промежуточное и конечное положения):

- 1 – аппарат; 2 – рамная опора; 3 – поворотная цапфа; 4 – каретка; 5 – полиспаст; 6 – поворотный шарнир

Нижние концы подъемных подпорок шарнирно опираются на каретки 4 или тележки, катящиеся под действием тягового усилия по рельсовому пути. При подъеме оборудования массой до 80 т каретки выполняются однокатковыми, при массе более 80 т – в виде тележек. Расположение кареток под центром массы оборудования и ближе к поворотному шарниру 6 на всех стадиях подъема не допускается. Подъем аппарата осуществляется двумя полиспастами 5, соединяющими поворотный шарнир аппарата с каретками. Сбегающие ветви этих полиспастов направляются к барабанам лебедок (на схемах не показаны).

При монтаже колонны методом выжимания необходимо обеспечить: а) перемещение нижней части рамной опоры вдоль оси поднимаемого аппарата;

б) наличие тормозной оттяжки, используемой при перемещении аппарата из положения неустойчивого равновесия в вертикальное; в) шарнирное соединение ригелей рамных опор с поднимаемым аппаратом; г) достаточную продольную жесткость подпорок и аппарата; д) расположение направляющих под нижние части рамных опор на одном уровне.

Аппарат, выжимающие подпорки и полиспаст образуют замкнутую систему, от которой усилия на фундамент не передаются. Фундамент воспринимает только усилия от сбегающих ветвей полиспастов. Грузовые полиспасты располагаются внизу, что обеспечивает удобный контроль за их состоянием во время подъема.

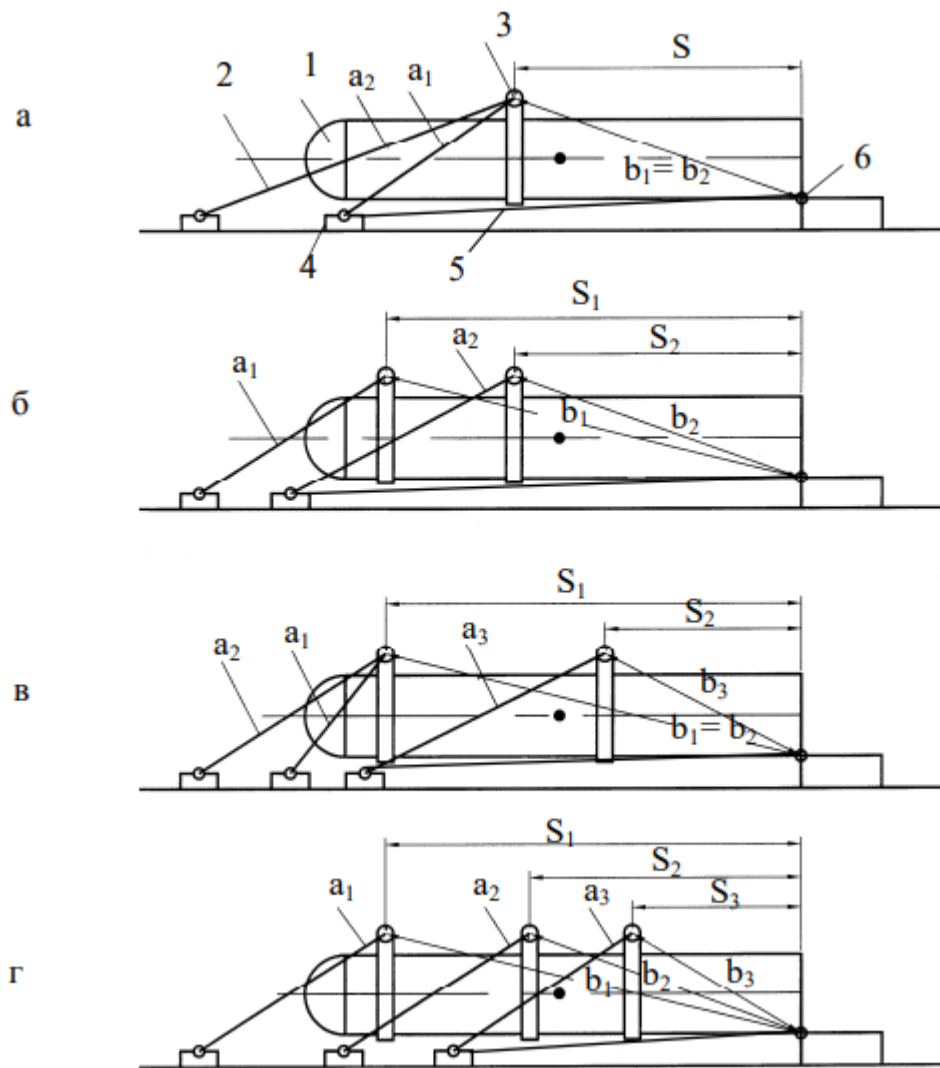


Рисунок – 9. Подъем аппарата (исходное положение):

а, б – двумя рамными опорами; в, г - тремя рамными опорами;

1 – аппарат; 2 – рамная опора; 3 – поворотная цапфа; 4 – каретка; 5 - полиспасть; 6 –поворотный шарнир

Простейшим вариантом является подъем с использованием одной достаточно длинной подпорки, позволяющей поднять аппарат из горизонтального или слегка наклонного положения в вертикальное (рис. 8). При этом в начале подъема угол наклона подпорки к горизонту оказывается малым, а усилие в ней и полиспасте – большим (примерно в 1,5 раза больше веса аппарата). Для уменьшения начальных усилий используют две или три последовательно работающие подпорки разной длины. Каждая подпорка опирается на свою каретку, снабженную полиспастом. С целью уменьшения

усилий сначала используется более короткая подпорки или подпорка, расположенная ближе к вершине аппарата, а затем – более длинная или расположенная ближе к его основанию.

На практике используются следующие варианты подъема двумя и более подпорками:

- 1) двумя рамными опорами, закрепленными в одной точке аппарата (рис. 9а);
- 2) двумя рамными опорами, закрепленными в разных точках аппарата (рис.9б);
- 3) тремя рамными опорами, две из которых закреплены в одной точке аппарата (рис. 9в);
- 4) тремя рамными опорами, закрепленными в трех точках аппарата (рис. 9г)

Основными расчетными параметрами являются:

1. Угол неустойчивого равновесия аппарата

$$\alpha_{нр} = 90^\circ - \operatorname{arctg} \left( \frac{R_2}{l_{ц.м.}} \right),$$

где  $R_2$  – расстояние от шарнира до оси аппарата (проходящей через центр массы);  $l_{ц.м.}$  – расстояние от шарнира до центра массы по длине аппарата.

2. Продольное усилие (сжатие) в подпорке с учетом ее веса в процессе подъема (аппарат поднят на угол  $\alpha$ )

$$Q = \frac{P \cdot R \cdot \cos(\alpha + \nu)}{b \cdot \sin(\alpha + \beta + \varphi)} + \frac{P_n \cdot l_n \cdot \cos \varphi}{a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta + \varphi)},$$

где  $P$  – вес аппарата;  $R$  – кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до его центра массы;  $b$  – кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до точки крепления подпорки (до оси поворотной цапфы);  $P_n$  – вес подпорки;  $l_n$  – расстояние от нижнего конца подпорки до ее центра массы;  $a$  – длина подпорки;  $\varphi$  – угол наклона подпорки к горизонту;  $\alpha$  – угол наклона аппарата к горизонту.

Очевидно  $R = \sqrt{l_{ц.м.}^2 + R_2^2}$ ,  $b = \sqrt{S^2 + b^2}$ .

Углы  $\beta$  и  $\gamma$  постоянны и рассчитываются по формулам

$$\beta = \arctg (B/S), \quad \gamma = \arctg (R_2/l_{ц.м.}),$$

Где  $B$  – расстояние по ширине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы (т.е. до верхнего конца подпорки);  $S$  – расстояние по длине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы.

Угол  $\varphi$  находится из соотношения

$$\sin \varphi = \frac{b \cdot \sin(\alpha + \beta)}{a} + \frac{h}{a}$$

3. Сила прижатия каретки к рельсам, действующая вертикально вниз:

$$N = P_n + Q \cdot \sin \varphi - Q_1 \cdot \cos \varphi,$$

Здесь поперечная составляющая силы давления аппарата на подпорку  $Q_1$  составляет

$$Q_1 = \frac{P_n \cdot l_n \cdot \cos \varphi}{a}$$

4. Усилие в полиспасте в процессе подъема аппарата:

-без учета трения каретки о рельсы

$$T = Q \cdot \cos \varphi + Q_1 \cdot \sin \varphi,$$

-с учетом трения

$$T_1 = T + f \cdot N,$$

Где  $f$  – коэффициент трения качения каретки по рельсовому пути.

При подъеме двумя или тремя подпорками предварительно определяется область применения (пределы углов  $\alpha$ ) каждой подпорки. Затем по вышеприведенным формулам рассчитываются усилия отдельно для каждой области.

При монтаже вертикальных аппаратов успешно используют гидравлические подъемные механизмы. По кинематической схеме способ

подъема аппаратов гидроподъемником относится к безъякорным и называется способом выталкивания (рис. 10). Перед подъемом аппарат 1 с помощью крана укладывается нижней частью в шарнир 5, а верхней - на козлы или шпальную выкладку 2. Стойки гидроподъемника 3 устанавливаются по обе стороны аппарата и расчаливаются. Опоры стоек соединяются стяжками 4 или полиспастами с поворотным шарниром поднимаемого аппарата.

При перемещении подъемных устройств (каretки и траверсы) вдоль стоек поднимаемая колонна поворачивается вокруг шарнира; одновременно вокруг шарнирных опор поворачиваются стойки гидроподъемника. При подходе к положению неустойчивого равновесия включается тормозная оттяжка 6. Если длина стоек недостаточна, то аппарат переводят в вертикальное положение методом выжимания, перемещая опоры стоек гидроподъемника полиспастами, связывающими опоры стоек с поворотным шарниром аппарата. При этом стойки движутся по металлическим листам, смазанным солидолом.

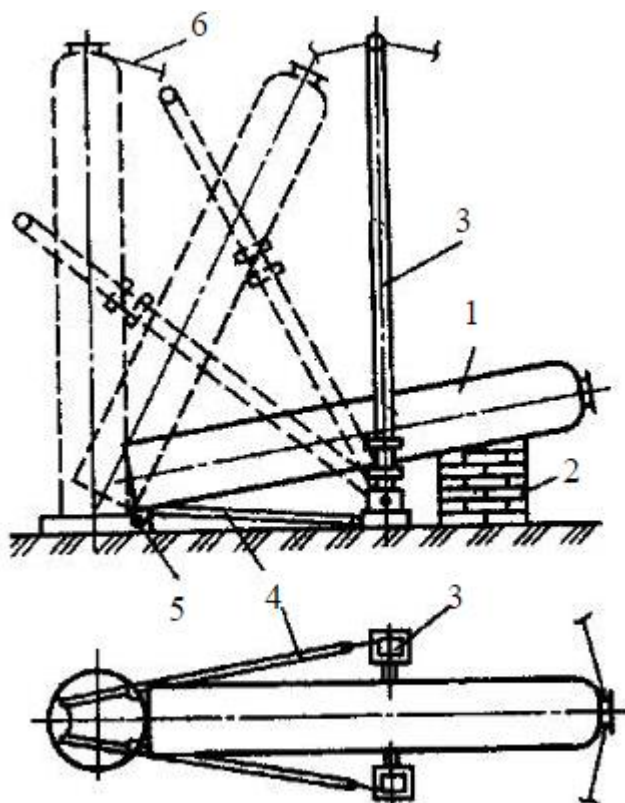


Рисунок 10 – Схема монтажа аппарата гидроподъемником:

- 1 – аппарат; 2 – шпальная выкладка; 3 – гидроподъемник; 4 – стяжка; 5 – шарнир; 6 – тормозная оттяжка

### **3. Монтаж оборудования самоходными стреловыми кранами**

Все описанные выше методы монтажа вертикальных цилиндрических аппаратов мачтами применимы и при монтаже стреловыми кранами.

Аппараты в проектное положение можно устанавливать:

– методом поворота вокруг шарнира одним или двумя кранами; со строповкой за верх аппарата или за корпус; с доводкой в вертикальное положение вантами и с применением тормозной оттяжки; с передвижением крана (кранов), поворотом стрелы, с изменением вылета крюка или с одной установки крана; метод применяют для оборудования, устанавливаемого на нулевой отметке либо на невысоком фундаменте;

– одним или двумя кранами методом скольжения опорной части аппарата с подтаскиванием его низа в процессе подъема; с оттяжкой при наличии высокого фундамента; со строповкой аппарата за верх или за корпус; без передвижения или с передвижением крана (кранов); с отрывом низа аппарата от саней и без отрыва; метод можно применять для монтажа оборудования на высоком фундаменте.

Некоторые варианты монтажа оборудования стреловыми кранами представлены на рис. 11.



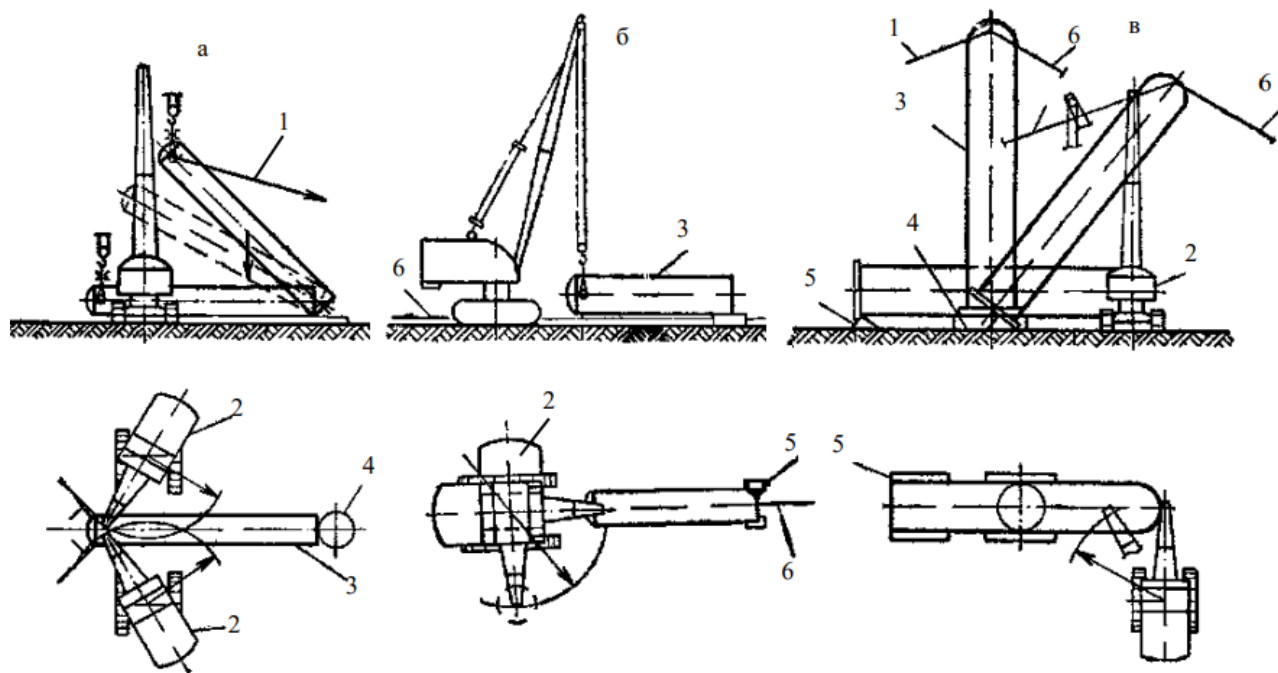


Рисунок 11 – Схемы методов монтажа вертикальных аппаратов стреловыми кранами:

а – подъем аппарата методом поворота вокруг шарнира двумя кранами с доводкой вантами; б – подъем аппарата методом скольжения одним краном с отрывом аппарата от грунта; в – подъем аппарата методом скольжения одним краном без отрыва от грунта; 1 – дотягивающая ванта; 2 – стреловой кран; 3 – аппарат; 4 – фундамент; 5 – сани; 6 – тормозная оттяжка

На рис. 11а показан подъем аппарата методом поворота вокруг шарнира двумя кранами (с поворотом стрел кранов) с доводкой в вертикальное положение вантами и применением тормозной оттяжки; на рис. 11б – подъем аппарата методом скольжения одним краном с подтаскиванием низа аппарата в процессе подъема, с отрывом аппарата от грунта, переносом на ось установки (поворотом стрелы) и опусканием в проектное положение; на рис. 11в – подъем аппарата методом скольжения одним краном без отрыва низа аппарата от грунта, с установкой крана не по оси фундамента, с доводкой аппарата в вертикальное положение вантами и применением тормозной оттяжки.

Выбранный метод должен обеспечить работу крана в процессе подъема без увеличения против расчетного вылета стрелы и высоты подъема крюка.

Стреловое оборудование крана должно давать возможность размещать аппарат в подстреловой зоне (определяется прочерчиванием). Если высота аппарата превышает высоту подъема крюка крана, можно применять строповку аппарата за корпус (за монтажные штуцера, приваренные на расстоянии, равном примерно  $2/3$  высоты аппарата). Аппарат в этом случае поднимают в наклонном положении. Место строповки следует выбирать с таким расчетом, чтобы при опускании на анкерные болты угол отклонения аппарата от вертикали не превышал  $15^\circ$ . При подъеме аппарата двумя кранами следует с помощью балансирных траверс обеспечить распределение нагрузок на каждый кран в соответствии с их грузоподъемностью.

В монтажной практике используются различные способы повышения грузовысотных характеристик стреловых кранов: применение опорной стойки (подпорки) под аппарат; применение стреловых кранов с временно расчлененной стрелой; применение кранов с опирающимися стрелами; применение кранов со стрелами, соединенными ригелем; применение крана с использованием разгрузочного устройства.

Монтаж оборудования стреловыми кранами строповкой за опорную стойку под аппарат (рис. 12) применяют в тех случаях, когда высота аппарата значительно превышает высоту подъема крюка крана. Метод монтажа – поворот аппарата вокруг шарнира. До начала монтажа на аппарате укрепляется опорная стойка, представляющая собой сварную пространственную конструкцию, как правило, треугольного сечения. Соединение стойки с аппаратом шарнирное. К шарнирной опоре аппарата крепится металлическая тяга либо стягивающий полиспаст.

Подъем осуществляется в два этапа. На первом этапе аппарат за его верхний штуцер краном (кранами) поднимают на максимально возможную высоту подъема крюка. В этом положении аппарат фиксируют, соединяя низ опорной стойки с тягой (или стягивающим полиспастом). Аппарат вместе с опорной стойкой и тягой образуют жесткий треугольник, при этом нижний конец опорной стойки через шпальную выкладку упирается в грунт. На втором

этапе подъема краны (через балансирующую траверсу) стропятся за нижний конец опорной стойки. Поднимая кранами основание опорной стойки, а следовательно, и аппарат, перемещают последний в вертикальное положение без доводки вантом. В положении неустойчивого равновесия в работу включается тормозная оттяжка.

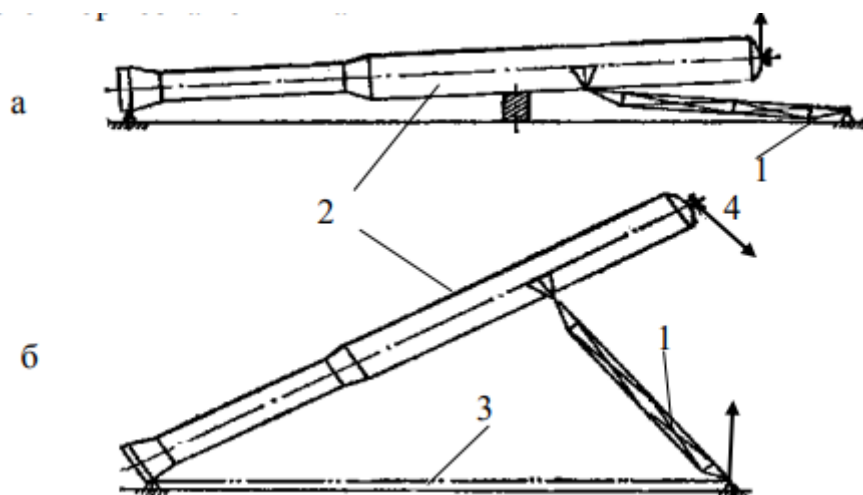


Рисунок 12 – Схема подъема аппарата с применением опорной стойки:  
а, б – этапы подъема; 1 – опорная стойка; 2 – аппарат; 3 – тяга или полиспаст; 4 – тормозная оттяжка

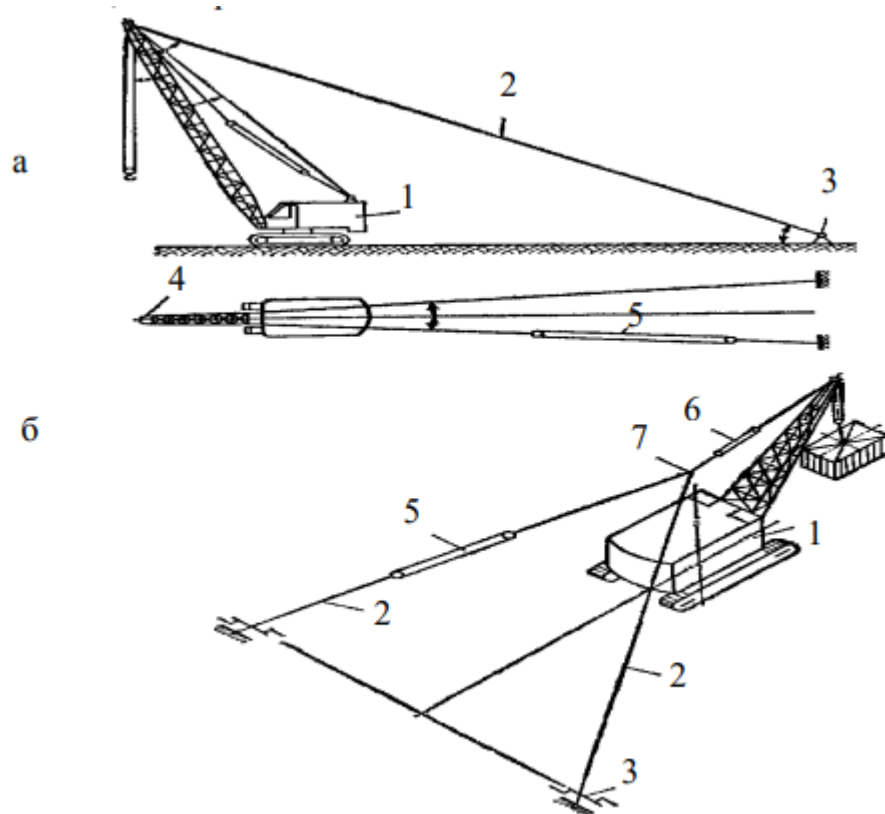


Рисунок 13 – Краны с расчаленными стрелами:

а – неманевренная стрела; б – маневренная стрела; 1 – кран; 2 – расчалка ветви системы расчаливания; 3 – якорь с лебедкой; 4 – уравнительный блок; 5 – полиспафт ветви системы расчаливания; б – полиспафт системы расчаливания; 7 – соединительная траверса

Монтаж оборудования самоходными стреловыми кранами с временно расчаленными стрелами (рис. 13) применяют, если масса оборудования превышает паспортную грузоподъемность крана и если условия монтажной площадки позволяют разместить необходимые расчалки.

Временное расчаливание стрелы может быть маневренным (рис. 13б) и неманевренным (рис. 13а). Краны с неманевренными расчаленными стрелами применяют при установке оборудования, когда можно ограничиться операциями лишь по подъему, опусканию крюка и изменению вылета стрелы. В случае если в процессе подъема возникает необходимость поворачивать платформу с грузом на крюке, применяют маневренные расчаленные стрелы. Поворот платформы крана при этом допускается в пределах сектора, образованного продолжением горизонтальных проекций ветвей расчалки. Во

всех случаях центральный угол сектора обслуживания не должен превышать 120°. Неманевренное расчаливание стрел выполняют одно-, двух- или трехветвевой расчалкой (рис. 14). Расчалки необходимо располагать следующим образом: одноветвевую – в вертикальной плоскости подвеса стрелы; многоветвевая расчалка должна иметь равнодействующую усилий натяжения ветвей в вертикальной плоскости подвеса стрелы. Для балансировки нагрузок в ветвях многоветвевых расчалок применяют одно- и многорольные блоки и регулировочные полиспасты.

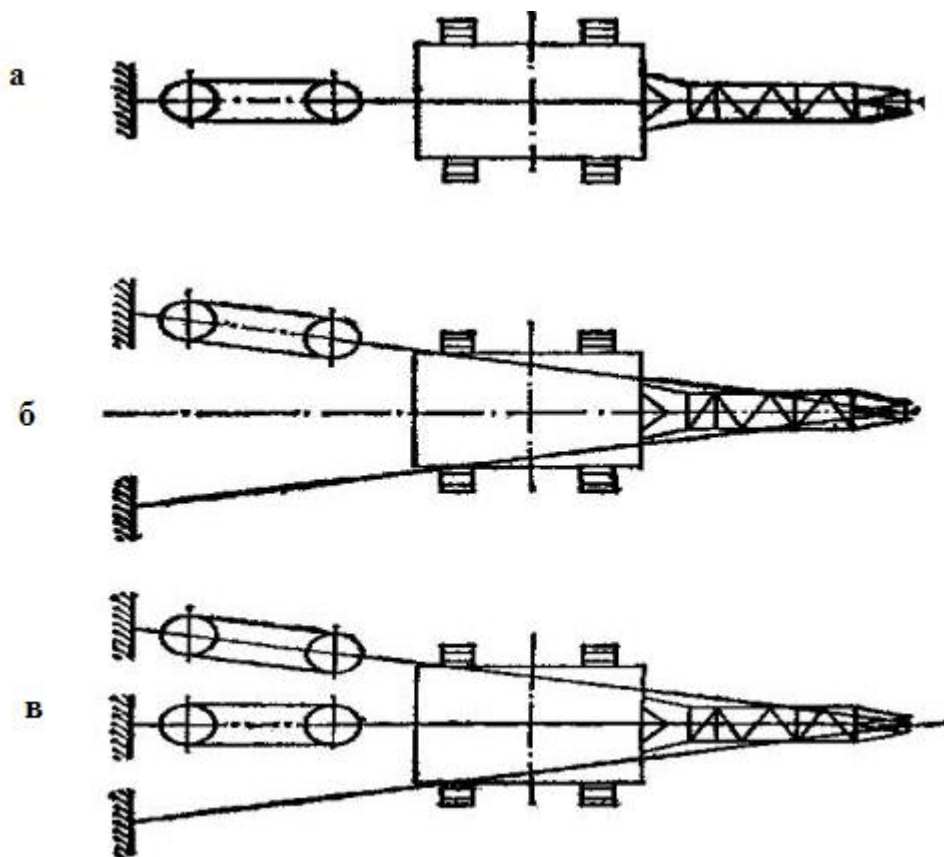


Рисунок 14 – Виды систем неманевренного расчаливания стрел кранов: а – одноветвевая; б – двухветвевая; в – трехветвевая

В систему маневренного расчаливания стрелы крана (рис. 13б) входят: траверса 7, соединяющая полиспаст расчалки 6 и ее ветви 2 (несбалансированные между собой и имеющие регулировочные полиспасты 5); приборы контроля за расположением элементов расчалки при эксплуатации крана; датчик контроля положения полиспаста расчалки относительно оси

стрелы; устройство, обеспечивающее контроль за положением соединительной траверсы относительно оси поворота платформы крана.

Расчалку к стреле крана следует крепить за ось неподвижного блока грузового полиспаста (рис. 15). Соединительную траверсу (поз. 4 на рис. 15 и поз. 7 на рис. 13б) выполняют в виде равностороннего треугольника, к одной из вершин которого (за ролик либо ось) крепят полиспаст расчалки, а к двум другим – ветви.

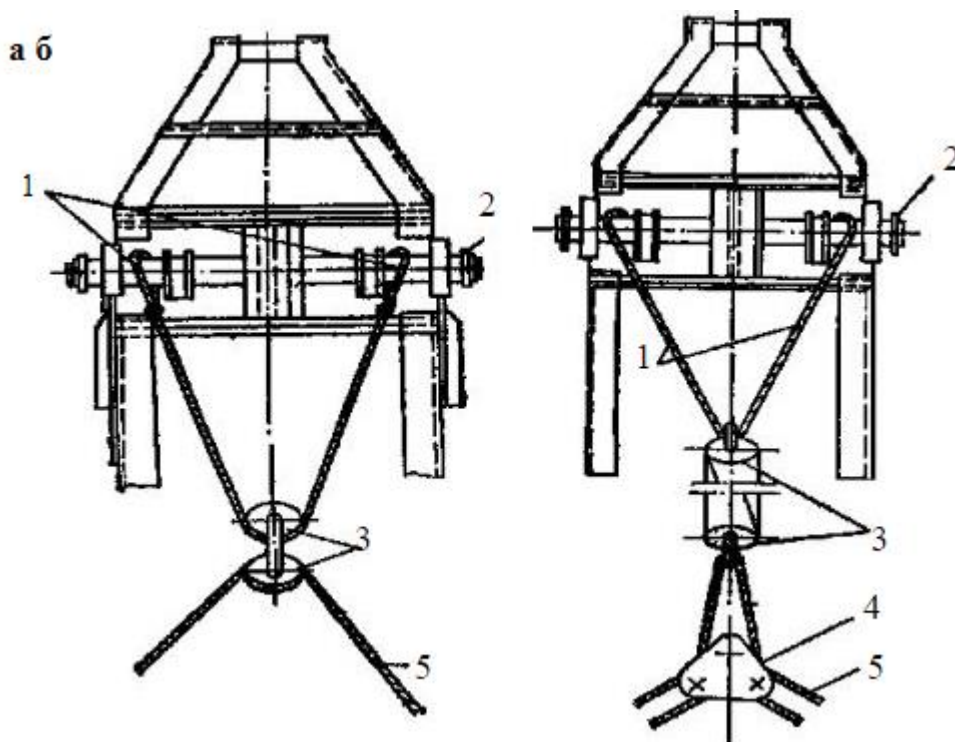


Рисунок 15 – Крепление систем расчаливания за ось неподвижного блока грузового полиспаста:

а – неманевренная стрела; б – маневренная стрела; 1 – места крепления расчалок; 2 – места крепления стрелового полиспаста; 3 – балансирные ролики (полиспаст системы расчаливания); 4 – траверса; 5 – расчалки

Траверса, как правило, бывает роликовой, либо вместо роликов делают оси из труб. Полиспаст расчалки (поз. 6 на рис. 13б и поз. 3 на рис. 15) для изменения вылета стрелы следует располагать в плоскости подвеса стрелы; сбегаящая ветвь этого полиспаста направляется на барабан лебедки вспомогательного подъема. При этом стрелоподдерживающая система крана должна быть ослаблена и не должна воспринимать нагрузок от массы стрелы и

груза. Для крепления ветвей расчалок используются наземные якоря с лебедками.

При установке стрел самоходных стреловых кранов на опорные стойки (рис. 16) грузоподъемность кранов может превышать паспортную в 1,5 раза.

Особенностью этого метода является также возможность подъема оборудования, высота которого почти в 2 раза может превышать высоту подъема крюка крана. В качестве опорных стоек используются А-образные шевры. Метод монтажа – скольжение с отрывом аппарата от земли, поэтому опорная часть аппарата при подъеме подтаскивается к фундаменту.

Шевры, на которые опираются стрелы, устанавливаются в следующем порядке: к опущенной стреле первого крана крепят шевр; стрелу с закрепленным на ней шевром поднимают вторым краном до угла в  $35^\circ$  к горизонту; стреловым полиспастом первого крана устанавливают стрелу с шевром в рабочее положение; аналогично устанавливают второй шевр, используя грузоподъемные механизмы первого крана. Для уменьшения просадки грунта шевры устанавливают на инвентарные щиты или шпалы. При натяжении стреловых полиспастов производится подъем шевров таким образом, чтобы между основанием шевров и опорной поверхностью образовался зазор примерно 30 мм. Этот зазор обеспечивает, после нагружения шевров, работу стрел на сжатие. При производстве работ отклонение грузовых полиспастов от вертикали из плоскости стрел не должно превышать  $3^\circ$ . Механизмы поворота кранов должны быть заторможены, стреловые полиспасты – натянуты.

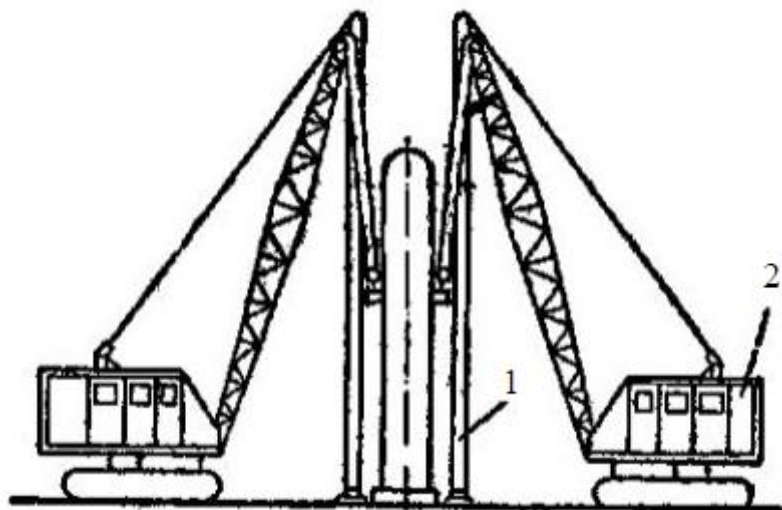


Рисунок 16 – Схема кранов с опирающимися стрелами: 1 – опорная стойка (А – образный шевр); 2 – стреловой кран

При опирании стрел двух кранов на ригель (рис. 17) потеря устойчивости кранов в плоскости расположения стрел исключается. Поэтому этот способ монтажа применяют для установки в проектное положение аппаратов, масса которых превышает суммарную паспортную грузоподъемность имеющихся кранов. С точки зрения траектории движения аппарата в процессе подъема это метод скольжения с отрывом от земли.

Плоскость подъема аппаратов располагается перпендикулярно плоскости расположения стрел кранов. Для того, чтобы исключить появление дополнительных усилий на краны, место строповки аппарата располагается строго по оси фундамента, совпадающей с плоскостью расположения стрел кранов. При подъеме не допускается отклонение грузовых полиспастов от вертикали более чем на  $1^\circ$ , поэтому опорная часть аппарата перемещается лебедкой к фундаменту, т.е. к плоскости расположения стрел кранов. Порядок установки ригеля: укладывают ригель на козлы и укрепляют на оголовке одной из стрел; поднимают стрелу с ригелем; устанавливают оба крана так, чтобы расстояние между оголовками стрел было на 0,5м меньше, чем длина ригеля; лебедкой вспомогательного подъема опускают ригель на оголовок стрелы второго крана; поочередно уменьшая вылеты стрел кранов, раздвигают оголовки стрел и осуществляют соединение ригеля с оголовком второй стрелы.



После того как ригель пазами попадет на дополнительную ось, укрепленную на оголовке стрелы второго крана, стреловые полиспасты ослабляют, а подъем осуществляется грузовыми полиспастами.

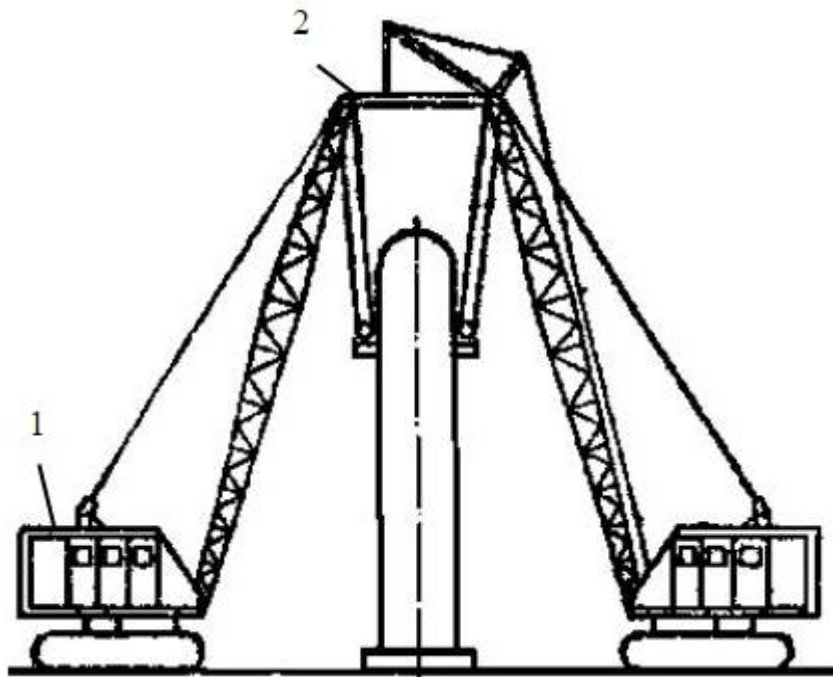


Рисунок 17 – Схема кранов со стрелами, соединенными ригелем:

1 – ригель; 2 – стреловой кран

При монтаже методом поворота вокруг шарнира для снижения нагрузки на кран в момент отрыва аппарата от земли применяется дополнительная тяговая система, состоящая из шевра 4, полиспаста 3 с грузом 2 и лебедки 1 (рис. 18).

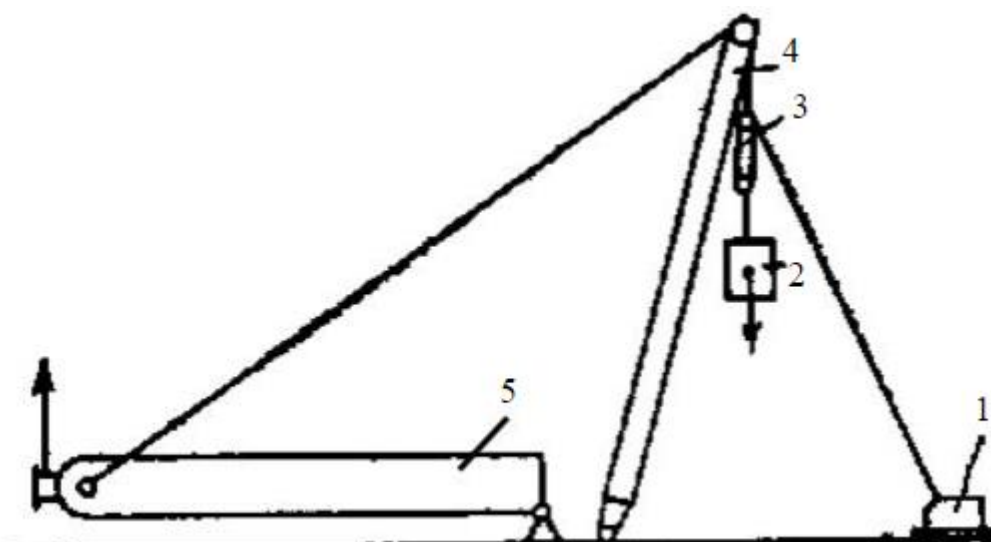


Рисунок 18 – Схема подъема краном с использованием разгрузочного устройства: 1 – лебедка; 2 – груз; 3 – полиспаст; 4 – шевр; 5 – аппарат

Дополнительный груз (например, железобетонный блок) в начальный момент поднимается лебедкой от земли. Подъем аппарата 5 осуществляется совместным действием груза через шевр и краном, грузовой трос которого стропится за верхний штуцер аппарата. В конце подъема груз опускается на землю, выполняя роль якоря, а лебедка дотягивает аппарат до проектного положения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены вопросы монтажа вертикальных цилиндрических аппаратов на промышленном предприятии.

Существуют множество различных методов монтажа вертикальных цилиндрических аппаратов, но среди этих методов были выбраны и рассмотрены основные из них: 1) монтаж мачтовыми подъемниками; 2) монтаж самоходными стреловыми кранами, а также в зависимости от условий пространственного перемещения поднимаемого оборудования: 1) метод скольжения опорной части аппарата с отрывом или без отрыва опорной части от грунта, с оттяжкой низа аппарата перед установкой на фундамент или без оттяжки; 2) метод поворота оборудования вокруг неподвижно закрепленного (либо скользящего) шарнира; 3) безъякорные методы.

Несмотря на большое разнообразие методов монтажа, на промышленном предприятии выбор того или иного метода будет зависеть в первую очередь от следующих рядов факторов: габаритов, массы и конструктивных особенностей монтируемого оборудования; площадки, на которой производится монтаж; пространственного положения оборудования; оснащенности монтажными механизмами и приспособлениями; достигнутого уровня монтажной техники.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков В.Г. Монтаж колонных аппаратов: методические указания / В.Г. Коротков, Е.В. Ганин, А.В. Колотвин; Оренбургский гос. ун-т.– Оренбург: ОГУ, 2019. – 73 с.
2. Поникаров, И. И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки / И. И. Поникаров, М. Г. Гайнуллин. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 604 с.
3. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки: Учебник. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Альфа-М, 2006. – 608 с.: ил.
4. ГОСТ 23887-79 Сборка. Термины и определения.