

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский государственный технологический университет»

## **МОНТАЖ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ**

Методические указания  
к лабораторным работам

2005

Составители: доц. М.Г.Гайнуллин  
доц. М.А.Закиров  
нач.отд. И.К.Валеев  
проф. С.И.Поникаров  
доц. Н.И.Багаутдинов

**Монтаж колонных аппаратов:** Метод указания к лаб. работам/ Казан. гос. технол. ун-т; Сост.: М.Г.Гайнуллин, М.А.Закиров, И.К.Валеев, С.И.Поникаров, Н.И.Багаутдинов. Казань, 2005. 56 с.

Включены 4 лабораторные работы по дисциплине «Монтаж и ремонт технологического оборудования». В этих работах изложены особенности монтажа колонных аппаратов различными методами, а также последовательность расчета усилий в такелажной оснастке.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальностям «Машины и аппараты химических производств» (170500) и «Оборудование нефтегазопереработки» (171700), всех форм обучения.

Подготовлены на кафедре «Машины и аппараты химических производств».

Печатаются по решению методической комиссии по циклу механических дисциплин.

Рецензенты: доц. И.В.Чепегин  
проф. С.В.Анаников

## ВВЕДЕНИЕ

Надежная работа машин и аппаратов в значительной мере зависит от качества их сборки и монтажа.

*Монтажные работы* являются одним из трех видов строительно-монтажных работ: строительных, специальных строительных и монтажных. К монтажным работам относятся: монтаж оборудования промышленных предприятий, оборудования для добычи и переработки полезных ископаемых, подъемно-транспортного оборудования, электротехнического оборудования и средств связи и сигнализации, контрольно-измерительных приборов и устройств, монтаж теплоэнергетического и другого оборудования, технологических трубопроводов и металлоконструкций.

*Монтаж* (ГОСТ 23887) — 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, опробование и пуск 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.

Методы производства работ при *установке технологического оборудования в проектное положение* 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 краном 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 неподвижного закрепленного (либо скользящего) шарнира; 3) безъякорные методы.

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

В настоящих методических указаниях рассматриваются четыре метода монтажа колонных аппаратов:

- безъякорный метод с помощью самомонтирующегося портала;
- метод выжимания скользящей по рельсам подпоркой;
- метод поворота вокруг шарнира двумя вертикальными мачтами;
- метод скольжения с отрывом аппарата от земли и с оттяжкой низа аппарата перед заводкой его на фундамент.

Технология обучения предполагает:

- наглядную демонстрацию процессов, происходящих во время подъема колонного аппарата как на компьютерном тренажере, так и на физической модели, выполненной в масштабе 1:50 к реальному объекту;
- выполнение теоретических расчетов по заданным геометрическим параметрам и весу колонны как вручную, так и с помощью компьютерной расчетной программы;
- экспериментальное определение, возникающих в такелажной оснастке при различных методах монтажа, и сравнение полученных результатов с теоретическими расчетами.

Лабораторная работа № 1  
**МОНТАЖ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АППАРАТОВ  
БЕЗЪЯКОРНЫМ МЕТОДОМ С ПОМОЩЬЮ  
САМОМОТИРУЮЩЕГОСЯ ПОРТАЛА**

*Цель работы:* изучение последовательности монтажа колонных аппаратов с помощью самомонтирующегося портала (или шевра) и определение усилий в такелажной оснастке.

Безъякорный метод — наиболее прогрессивный метод монтажа вертикальных аппаратов, применяемый преимущественно для подъема единичных тяжеловесных аппаратов в стесненных условиях на фундаменты высотой до 2 м при соотношении диаметра и высоты поднимаемых аппаратов не менее чем 1:10. Процесс установки оборудования безъякорным способом состоит из трех этапов (рис. 1):

- самоподъем портала (или шевра), соединенного с поднимаемым аппаратом полиспастами, до момента начала подъема аппарата;
- подъем аппарата с одновременным опусканием портала (шевра);
- доводка аппарата в проектное положение с одновременным опусканием портала.

Сущность безъякорного метода монтажа с помощью портала заключается в следующем. Аппарат закрепляют в поворотном шарнире и стропят за монтажные штуцеры, располагаемые выше центра массы. Шарнирные опоры портала устанавливают в одной вертикальной плоскости с местом строповки аппарата (или с небольшим смещением) и соединяют стяжкой с шарниром аппарата. Стяжка служит для предотвращения горизонтального сдвига опор портала и перекоса оси поворотного шарнира в горизонтальной плоскости. Изготавливается стяжка из стального каната, проката или труб. Нагрузки на стяжку близки по величине на-

грузкам, возникающим в грузовых полиспастах, поэтому креплению стяжек уделяют особое внимание. Портал укладывают в исходном положении со стороны фундамента аппарата. Грузовые полиспасты портала соединяют с монтажными штуцерами на корпусе монтируемого аппарата.

За счет работы лебедок длина полиспаста сокращается, а портал поднимается из горизонтального в положение, близкое к вертикальному, используя поднимаемый аппарат в качестве якоря. При некотором угле наклона портала к горизонту начинается подъем аппарата. Затем аппарат постепенно поднимается, а портал совершает сложное движение. Сначала при малых углах подъема аппарата (до  $3\div 5^\circ$ ) 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 и останавливают привод грузовых полиспастов. В процессе подъема аппарат и портал поворачиваются соответственно вокруг поворотного шарнира аппарата и шарнирной опоры портала. После установки аппарата в вертикальное положение портал опускают в исходное положение включением реверса тяговых лебедок.

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 уравнивающих сил исключает действие горизонтальных нагрузок на фундамент поднимаемого аппарата.

Преимущества безъякорного метода подъема:

1. Отсутствие вант и якорей к ним. Малое количество лебедок.

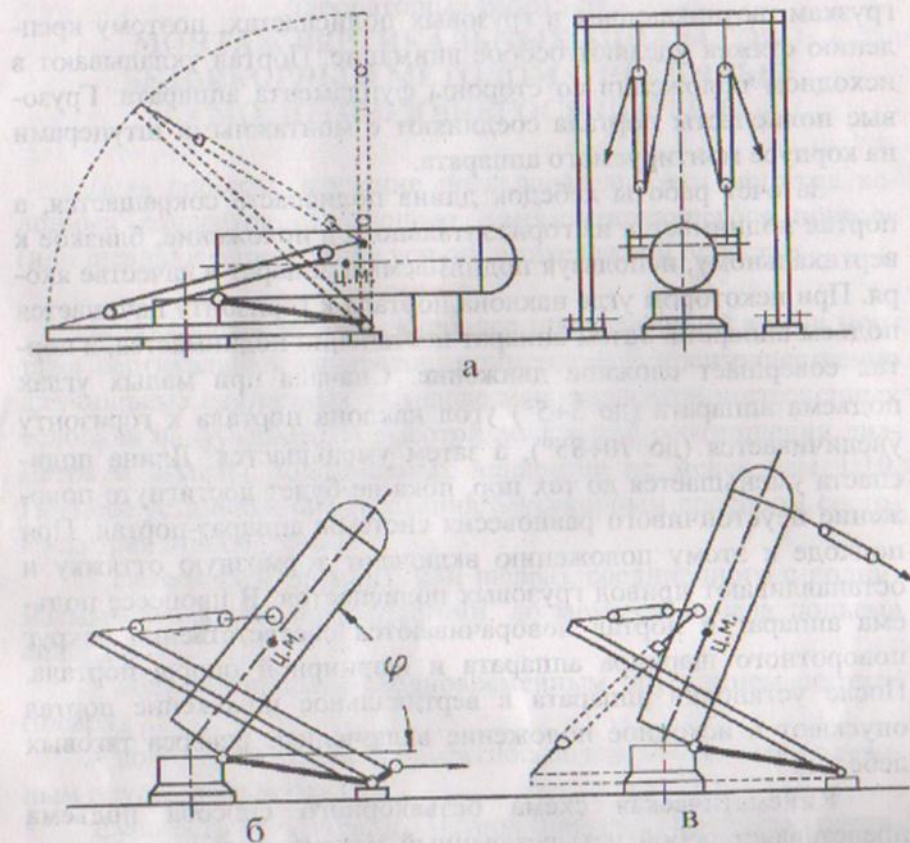


Рис.1. Схема подъема аппарата безъякорным способом.  
Этапы: а) первый; б) второй; в) третий

2. Монтажная площадка незначительно превышает габариты поднимаемого аппарата, что весьма важно, когда монтаж ведется в стесненных условиях.

3. Отсутствие необходимости поднимать и устанавливать в рабочее положение, а по окончании монтажа демонтировать основные монтажные средства (портал, мачты) с помощью дополнительных кранов или такелажных средств.

4. Отсутствие горизонтальных монтажных нагрузок на фундамент аппарата.

К недостаткам данного метода подъема относятся:

1. Чувствительность системы к осадке опор портала.

2. Необходимость сооружения фундамента под опорные стойки портала при монтаже аппаратов массой свыше 250 тонн в связи с большими усилиями, возникающими в опорно-поворотном шарнире.

Определение усилий в элементах такелажной оснастки

Обозначения (рис. 2):

$P, P_n$  – вес поднимаемого аппарата и портала соответственно, Н;

$\ell_{ц.м.}$  – расстояние по оси аппарата от его опорного шарнира до центра массы, м;

$\ell_n$  – расстояние по оси портала от его шарнира до центра массы портала, м;

$b$  – расстояние по горизонтали между опорными шарнирами аппарата и портала, м;

$\ell$  – длина портала, м;

$\ell_{ан}$  – длина аппарата, м;

$h$  – расстояние по вертикали между точкой строповки аппарата и шарниром портала в исходном положении аппарата, м;

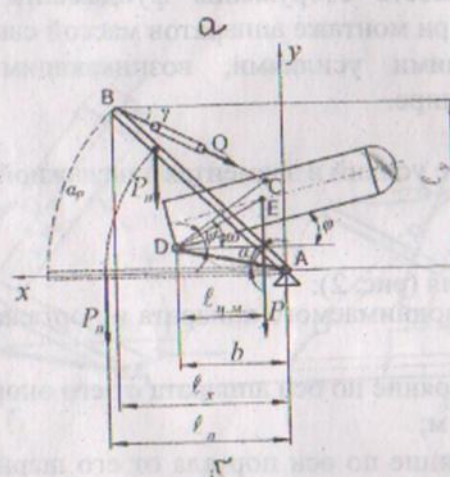
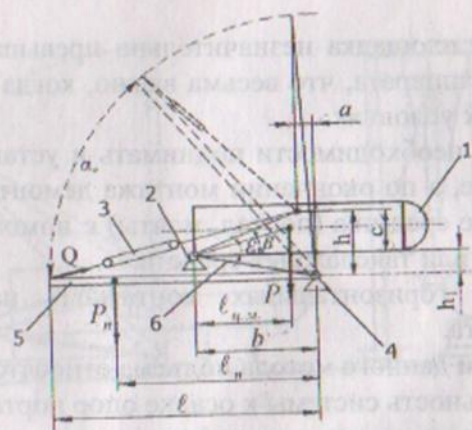


Рис.2. Расчетная схема определения усилий в элементах такелажной оснастки:

а-исходное положение и первый этап подъема; б-второй этап подъема; 1-аппарат; 2-поворотный шарнир; 3-полиспаст; 4-шарнирная опора; 5-портал; 6-стяжка

$h_1$  — высота фундамента под аппарат над шарниром портала, м;

$c$  — расстояние по вертикали от образующей аппарата до точки строповки ( $c = h - h_1$ ), м;

$a$  — расстояние между вертикальной осью, проходящей через шарнир портала, и точкой строповки аппарата в исходном положении перед подъемом, м;

$\ell_x, \ell_y$  — проекции портала соответственно на горизонтальную и вертикальную плоскости при заданном угле подъема портала, м;

$L_n$  — длина грузового полиспаста, м;

$r$  — радиус колонны, м;

$\alpha$  — угол наклона портала к горизонту, град;

$\beta$  — угол между нижней образующей аппарата и линией, соединяющей его шарнир с точкой строповки, в исходном положении аппарата перед подъемом, град;

$\varphi$  — угол наклона аппарата к горизонту, град;

$\gamma$  — угол наклона полиспаста к горизонту, град.

### Основные расчетные усилия и параметры

#### 1. Положение центра массы аппарата:

$$\ell_{ц.м.} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i}, \quad (1)$$

где  $m_i, x_i$  — соответственно массы отдельных элементов аппарата и их проекции (от центра массы элементов до оси шарнира аппарата) на горизонтальную плоскость.

2. Угол наклона портала к горизонту (см.рис. 2 а) в начальный момент подъема аппарата в случае  $\alpha = 0$  можно рассчитать по формуле

$$\alpha_0 = \arcsin \left[ \left( \frac{P \cdot \ell_{u.m.} \cdot \ell}{P_n \cdot \ell_n \cdot b} + \ell \right) \cdot \frac{h \cdot b}{\ell \cdot \sqrt{c^2 + b^2}} \right] - \beta, \quad (2)$$

где  $\beta = \arctg(c/b)$ .

В случае  $a \neq 0$  угол  $\alpha_0$  может быть рассчитан методом последовательных приближений (подбором  $\alpha_0$ ) по уравнению

$$\sin(\alpha_0 + \beta) + \frac{A \cdot a}{\ell} \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{a \cdot c}{\ell \cdot \ell_0} + \frac{(b-a) \cdot h}{\ell \cdot \ell_0} + \frac{A \cdot h}{\ell}, \quad (2a)$$

где  $A = \frac{(P \cdot \ell_{u.m.} \cdot \ell)}{(P_n \cdot \ell_n \cdot \ell_0)}$ ;  $\ell_0 = \sqrt{c^2 + (b-a)^2}$ ;  $\beta = \arctg \left[ \frac{c}{(b-a)} \right]$ .

Та же задача может быть решена по уравнению 4 (см. п.4), если положить в нем  $\varphi = 0$ .

3. Угол наклона аппарата к горизонту в момент неустойчивого равновесия системы аппарат-портал, град:

$$\varphi_1 = \arcsin \left( \frac{b \cdot h_1}{\ell^2} + \sqrt{\frac{P^2 \cdot \ell_{u.m.}^2 - P_n^2 \cdot \ell_n^2}{P^2 \cdot \ell_{u.m.}^2 - P_n^2 \cdot \ell_n^2 \cdot b^2 / \ell^2}} \right) - \beta. \quad (3)$$

4. Угол подъема портала  $\alpha_p$  при некотором угле наклона аппарата ( $\varphi = 0 \div 90^\circ$ ), когда система аппарат-портал находится в равновесии (так называемый равновесный угол подъема портала), находится по формуле (при любых значениях  $a$ ):

$$\sin(\omega + \alpha_p) - A \cdot \cos \psi \cdot \left( \frac{\ell_0}{\ell} \cdot \cos \omega - \frac{b}{\ell} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha_p =$$

$$= A \cdot \cos \psi \cdot \left( \frac{\ell_0}{\ell} \cdot \sin \omega + \frac{h_1}{\ell} \right) + \frac{b}{\ell} \cdot \sin \omega + \frac{h_1}{\ell} \cdot \cos \omega, \quad (4)$$

где  $\omega = (\varphi + \beta)$  – угол между горизонтальной линией и линией, соединяющей шарнир аппарата с точкой строповки, в наклонном положении аппарата;  $\psi = (\varphi + \varepsilon)$  – угол между горизонтальной линией и линией, соединяющей шарнир аппарата с точкой его центра масс, в наклонном положении аппарата;  $\varepsilon = \arctg(r/\ell_{u.m.})$  – угол между нижней образующей аппарата и

линией, соединяющей его шарнир с точкой центра масс, в исходном положении аппарата перед подъемом;  $r$  – расстояние от шарнира аппарата до его центра масс по ширине аппарата.

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.

5. Усилие в грузовых полиспастах в начальный момент подъема портала, когда  $\alpha = 0$  и  $\varphi = 0$  (см.рис. 2 а):

$$Q_0 = \frac{P_n \cdot \ell_n \cdot \sqrt{\ell^2 + h^2}}{\ell \cdot h}. \quad (5)$$

6. Усилие в грузовых полиспастах для любого положения поднимаемого портала (аппарат находится в горизонтальном положении,  $\varphi = 0$ ):

$$Q = P_n \cdot \frac{\ell_n}{\ell} \cdot \frac{\sqrt{(\ell_x/h - a/h)^2 + (\ell_y/h - 1)^2}}{1 - a \cdot \ell_y / h \cdot \ell_x}; \quad (6)$$

при  $a = 0$  (наиболее рациональная схема):

$$Q = P_n \cdot \frac{\ell_n}{\ell} \cdot \sqrt{\left( \frac{\ell_x}{h} \right)^2 + \left( \frac{\ell_y}{h} - 1 \right)^2}, \quad (7)$$

где  $\ell_x = \ell \cdot \cos \alpha$ ;  $\ell_y = \ell \cdot \sin \alpha$  – проекции длины портала на горизонтальную и вертикальную плоскости.

7. Усилие в полиспастах в начальный момент подъема аппарата:

$$Q_1 = \frac{P \cdot \ell_{u.m.} \cdot \sqrt{\ell^2 + h^2 - 2 \cdot \ell_y \cdot h}}{c \cdot \ell_x + b \cdot (\ell_y - h)}, \quad (8)$$

$$\ell_x = \ell \cdot \cos \alpha_p; \quad \ell_y = \ell \cdot \sin \alpha_p.$$

8. Угол наклона полиспаста к горизонту на первой стадии подъема ( $\alpha \neq 0$ ;  $\varphi = 0$ ):

$$\gamma_1 = \arctg \left( \frac{\ell \cdot \sin \alpha - h}{\ell \cdot \cos \alpha - a} \right), \quad (9)$$

в частности, в исходном положении ( $\alpha = 0$ ;  $\varphi = 0$ ):

$$\gamma_1 = \arctg \left( \frac{h}{\ell - a} \right)$$

9. Усилие в грузовых полиспастах при подъеме аппарата могут быть определены из выражений

$$Q_1 = \frac{P_n \cdot \ell_n \cdot \cos \alpha_p}{\ell \cdot \sin(\alpha_p - \gamma_2)} \quad \text{или} \quad Q_2 = \frac{P \cdot R \cdot \cos \psi}{\ell_0 \cdot \sin(\omega + \gamma_2)}, \quad (10)$$

где  $\gamma_2$  (угол наклона грузового полиспаста к горизонту при подъеме аппарата) определяется по формуле

$$\gamma_2 = \arctg \left[ \frac{(\ell \cdot \sin \alpha_p - \ell_0 \cdot \sin \omega - h_1)}{(\ell \cdot \cos \alpha_p + \ell_0 \cdot \cos \omega - b)} \right],$$

а значение  $R = \sqrt{r^2 + \ell_{н.м.}^2}$ .

Выражение для  $Q_1$  получается из условия равновесия портала, а для  $Q_2$  — из условия равновесия аппарата. Сходимость величин  $Q_1$  и  $Q_2$  является показателем правильности расчетов углов  $\alpha_p$  при заданных  $\varphi$ .

10. Длина полиспаста по мере подъема портала (т.е. от  $\alpha = 0$  до  $\alpha = \alpha_0$ ):

$$L_{n1} = \sqrt{(\ell \cdot \sin \alpha - h)^2 + (\ell \cdot \cos \alpha - a)^2} \quad (11)$$

11. Длина полиспаста при подъеме аппарата (т.е. при  $\varphi > 0$ ):

$$L_{n2} = \sqrt{(\ell \cdot \sin \alpha_p - \ell_n \cdot \sin \omega - h_1)^2 + (\ell \cdot \cos \alpha_p + \ell_0 \cdot \cos \omega - b)^2} \quad (12)$$

#### Описание установки

Схема установки представлена на рис. 3. Установка представляет собой монтажный стол 1 (1400x800 мм), на котором ус-

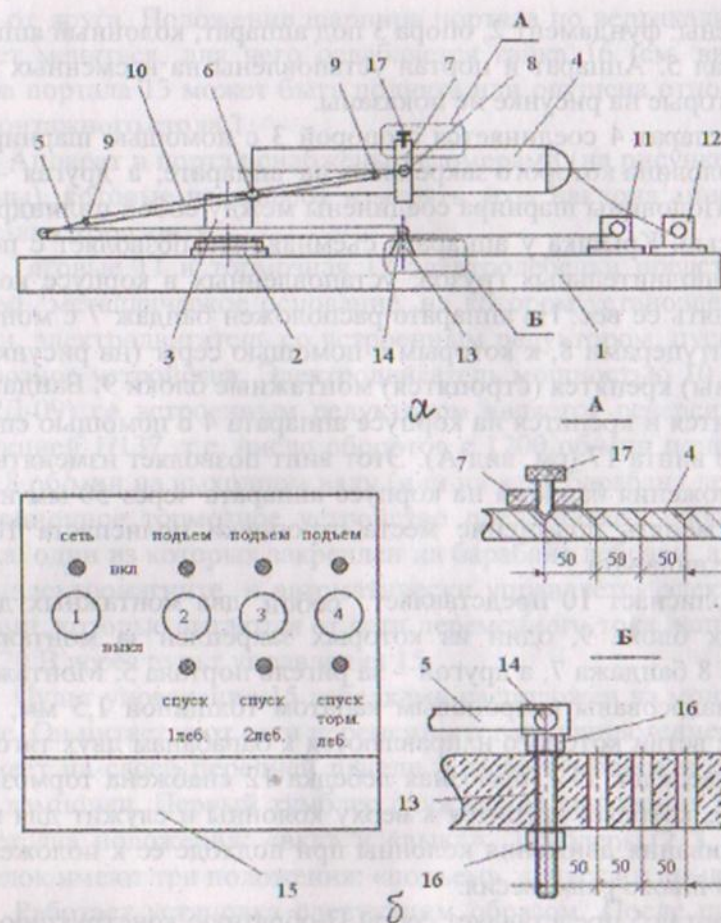


Рис. 3 Принципиальная схема экспериментальной установки: а—схема установки; б—схема пульта управления; 1—монтажный стол; 2—фундамент; 3—опора; 4—аппарат; 5—портал; 6—шарнир аппарата; 7—бандаж; 8—монтажные штупера; 9—монтажные блоки; 10—полиспаст; 11—тяговые электролебедки; 12—тормозная электролебедка; 13—опора портала; 14—шарнир портала; 15—пульт управления; 16—гайка

тановлены: фундамент 2, опора 3 под аппарат, колонный аппарат 4, портал 5. Аппарат и портал установлены на временных опорах, которые на рисунке не показаны.

Аппарат 4 соединяется с опорой 3 с помощью шарнира 6, одна половина которого закреплена на аппарате, а другая — на опоре. Половины шарнира соединены между собой цилиндрической осью. Крышка у аппарата съемная, что позволяет с помощью дополнительных грузов, установленных в корпусе колонны, менять ее вес. На аппарате расположен бандаж 7 с монтажными штыцерами 8, к которым с помощью серы (на рисунке не показаны) крепятся (строятся) монтажные блоки 9. Бандаж 7 стопорится и крепится на корпусе аппарата 4 с помощью специального винта 17 (см. вид А). Этот винт позволяет изменять место положения банджа на корпусе аппарата через 50 мм и тем самым менять положение места строповки полиспаста 10 на корпусе аппарата.

Полиспаст 10 представляет собой два монтажных двухрольных блока 9, один из которых закреплен за монтажный штыцер 8 банджа 7, а другой — за ригель портала 5. Монтажные блоки запасованы капроновым канатом толщиной 1,5 мм, сбегающие ветви которого направляются к барабанам двух тяговых электролебедок 11. Тормозная лебедка 12 снабжена тормозным канатом, который крепится к верху колонны и служит для притормаживания движения колонны при подходе ее к положению неустойчивого равновесия.

Портал 5 представляет собой П-образную конструкцию, изготовленную из труб. Стойки портала 5 выполнены телескопическими (на рисунке не показано), что позволяет увеличивать его длину дискретно на 50 мм от минимального значения 700 мм до 850 мм. Портал соединен с опорой портала 13 с помощью шарнира (оси) 14. Место положения шарнира портала (или опоры портала) по горизонтали может изменяться, для чего на монтажном столе (см. вид Б) выполнен ряд отверстий через 50 мм

друг от друга. Положение шарнира портала по вертикали также может меняться, для чего ослабляется гайка 16 (см. вид Б), и опора портала 13 может быть поднята или опущена относительно монтажного стола 1.

Аппарат и портал снабжены угломерами (на рисунке не показаны), которые позволяют измерять угол наклона аппарата и портала к горизонту.

Тяговые 11 и тормозная 12 электролебедки представляют собой металлическое основание, на котором установлены: барабан, электродвигатель со встроенным редуктором, пусковое и тормозное устройства. Электродвигатель мощностью 10 Вт (типа РД-09) со встроенным редуктором является реверсивным с редукцией 1/137, т.е. число оборотов с 1200 об/мин понижается до 8,8 об/мин на выходном валу (или на валу барабана лебедки). Фрикционное тормозное устройство представляет собой два диска, один из которых закреплен на барабане лебедки, а другой — на электромагните и автоматически управляется электромагнитами, которые питаются от сети переменного тока напряжением 220 В через пульт управления 15.

Пульт управления 15 лебедками расположен на монтажном столе. Он питается от сети переменного тока напряжением 220 В и имеет на своей передней панели четыре тумблера и сигнальные лампочки. Первый тумблер служит для включения в сеть и имеет два положения: «вкл» и «выкл». Тумблеры (2, 3, 4) для лебедок имеют три положения: «подъем», «спуск» и «выкл».

Работает установка следующим образом. После проверки правильности исходного положения (колонна и портал должны находиться в горизонтальном положении), исправности механизмов и правильности запасовки полиспастов приступают к подъему колонны. Для этого одновременно включают тяговые лебедки 11 на подъем. Затем включают тормозную лебедку с целью ослабления натяжения тормозного каната. Последний должен свободно провисать под собственным весом на протяжении

всего процесса подъема колонны до положения неустойчивого равновесия, которое заранее рассчитывается для заданных геометрических параметров элементов установки. Сбегающие ветви полиспастов 10 после включения грузовых лебедок начинают наматываться на барабаны лебедок. Длина полиспастов уменьшается, а усилия в них возрастают. При некотором значении усилия в полиспастах портал отрывается от временной опоры и начинает подниматься. При этом неравномерность скорости вращения барабанов лебедок компенсируется уравнивающей траверсой, которая на рисунке не показана.

На первом этапе подъема осуществляется самоподъем портала, причем подъем портала выполняют с периодическими остановками работы лебедок. При этом осматривают исправность такелажной оснастки (в частности, исправность запасовки грузовых полиспастов) и проводят экспериментальные замеры. По угломеру (на рисунке не показан) на портале фиксируют угол подъема портала, а по динамометру (на рисунке также не показан), установленному на линии полиспастов между ригелем портала и траверсой, - усилия в грузовых полиспастах. На установке смонтированы два четырехкратных полиспаста. Но поскольку схема их запасовки такова, что имеется уравнивающий ролик (траверса), то усилия по динамометру умножаются не на число 8, равное кратности двух полиспастов, а на число 6, соответствующее числу рабочих ветвей двух полиспастов. Рабочими ветвями полиспаста называют число канатов, на которых подвешен груз (колонна). При этом трение в роликах, установленных на подшипниках качения, не учитывается.

Первый этап, т.е. этап самоподъема портала, выполняют до угла (его заранее рассчитывают), при котором аппарат отрывается от земли (от временной опоры). Это положение контролируется визуально и фиксируется показаниями угла подъема портала и усилиями в полиспастах.

На втором этапе подъема визуально следят по угломеру, установленному на аппарате, за углом подъема аппарата. Лебедки также через определенные значения угла подъема аппарата (например,  $10^\circ$ ) останавливают и фиксируют в качестве экспериментальных результатов: 1) угол подъема аппарата; 2) угол подъема портала; 3) усилия в грузовых полиспастах.

Подъем колонны выполняют с периодическими остановками для замеров вплоть до положения неустойчивого равновесия системы колонна-портал, которое рассчитывают заранее. При подходе к этому положению тормозной накат натягивают и в дальнейшем визуально следят за его натяжением. Положение неустойчивого равновесия также определяют визуально. После его достижения аппарат плавно опускают на опору тормозным канатом, а портал плавно опускают в горизонтальное положение включением реверса лебедок, т.е. вращая барабан лебедок в обратном направлении.

В исходное состояние установка приводится следующим образом. С помощью тормозного каната система колонна-портал выводятся из вертикального положения в положение неустойчивого равновесия. Затем, включив грузовые лебедки на спуск, возвращают портал и колонну в первоначальное горизонтальное положение.

На основе уравнений (2) - (11) была составлена компьютерная расчетно-демонстрационная программа, позволяющая выполнять расчеты и наблюдать за процессом монтажа колонны.

На рис. 4 – 12 показано описание программы монтажа безъякорным методом. Внешний вид заставки программы представлен на рис.4, где последовательно на экране появляются надписи.

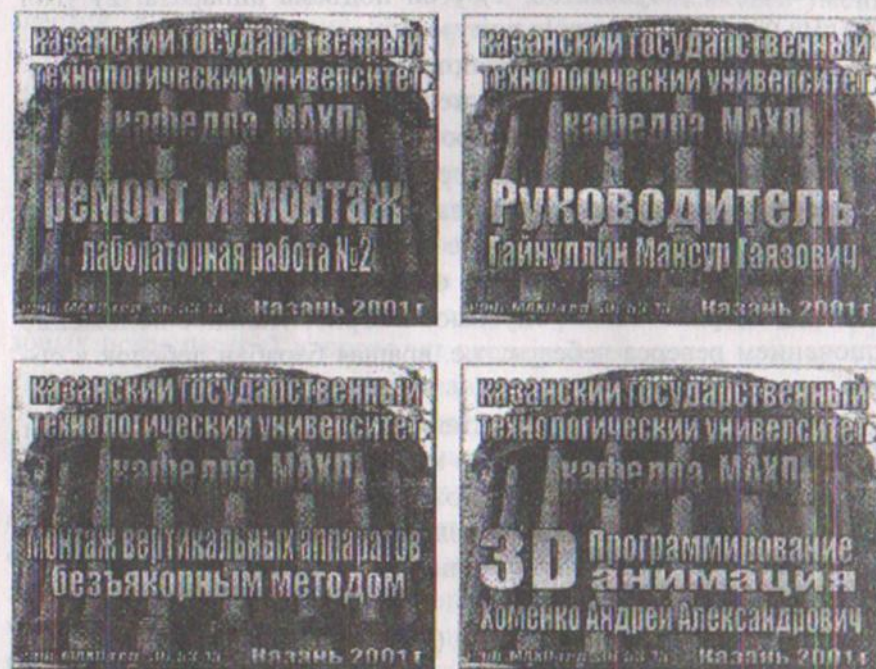


Рис.4

Основная управляющая панель с кнопками перехода на нужную экранную форму представлена на рис. 5.



Рис.5

Кнопка [Исходные данные] вызывает форму, на которой осуществляется ввод исходных данных (рис 6).

Ввод исходных данных можно производить заново или загрузить исходные данные из файла, нажав кнопку [Прочитать исходные данные]. Также можно сохранить данные в файле (кнопка [Сохранить исходные данные]).

| Параметр                                                                              | Значение       | Единица |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|
| Вес аппарата                                                                          | Р              | кг      |
| Расстояние по оси аппарата от его опорного крана до центра тяжести                    | h <sub>а</sub> | м       |
| Расстояние по оси аппарата от его опорного крана до центра тяжести                    | h <sub>к</sub> | м       |
| Вес крана                                                                             | Р <sub>к</sub> | кг      |
| Расстояние по оси крана от опорного крана до л.м.                                     | h <sub>к</sub> | м       |
| Длина крана                                                                           | l              | м       |
| Расстояние по оси крана до точки опоры аппарата и его крана по крану                  | h <sub>к</sub> | м       |
| Расст. по крану, между опорами аппаратов и крана                                      | h <sub>к</sub> | м       |
| Расст. по крану, между точкой опоры аппарата и крана по крану в исходной конфигурации | h <sub>к</sub> | м       |
| Расст. по крану, от опорного крана аппарата до точки опоры крана по крану             | h <sub>к</sub> | м       |
| Длина крана                                                                           | l              | м       |
| Длина крана                                                                           | l              | м       |

Рис.6

Кнопка [Расчетная схема] вызывает форму, отображающую расчетную схему подъема аппарата (рис. 7).

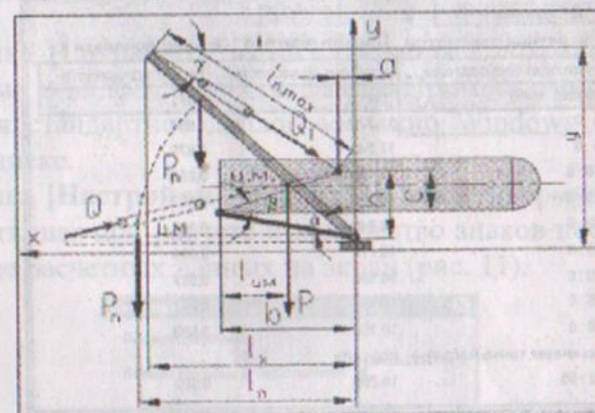


Рис. 7

Кнопка [Результаты расчета] вызывает форму, которая содержит три таблицы расчетных данных.

Первая таблица [Расчетные параметры] содержит общую информацию о подъеме аппарата и портала (рис. 8).

| Описание величины                                        | Значение | Единица    |
|----------------------------------------------------------|----------|------------|
| Угол подъема портала в начальный момент подъема аппарата | 42 : 59  | град : мин |
| Максимальный угол подъема портала                        | 61 : 28  | град : мин |
| Угол подъема аппарата при этом                           | 13 : 6   | град : мин |
| Угол неустойчивого равновесия аппарата                   | 52 : 34  | град : мин |
| Угол подъема портала при этом                            | 36 : 54  | град : мин |
| Максимальное усилие в полиспасте при подъеме портала     | 11,370   | кге        |
| Максимальное усилие в полиспасте при подъеме аппарата    | 10,280   | кге        |

Рис. 8

Вторая таблица [Подъем портала] содержит расчетные данные о подъеме портала (рис. 9).

| Угол подъема портала<br>(град : мин)      | Усилие в полиспасте<br>(кге) | Длина полиспаста<br>(м) |
|-------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 0 : 0                                     | 11,370                       | 0,883                   |
| 5 : 0                                     | 11,240                       | 0,878                   |
| 10 : 0                                    | 11,100                       | 0,867                   |
| 15 : 0                                    | 10,970                       | 0,857                   |
| 20 : 0                                    | 10,840                       | 0,847                   |
| 25 : 0                                    | 10,710                       | 0,836                   |
| 30 : 0                                    | 10,580                       | 0,827                   |
| 35 : 0                                    | 10,450                       | 0,817                   |
| 40 : 0                                    | 10,350                       | 0,803                   |
| Конечная точка подъема портала<br>42 : 59 | 10,280                       | 0,803                   |

Рис. 9

Третья таблица [Подъем аппарата] содержит расчетные данные о подъеме аппарата (рис. 10).

| Угол подъема аппарата<br>(град : мин)      | Угол подъема портала<br>(град : мин) | Усилие в полиспасте<br>(кге) | Длина полиспаста<br>(м) |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 0 : 0                                      | 42 : 59                              | 10,280                       | 0,803                   |
| 5 : 0                                      | 55 : 6                               | 8,548                        | 0,755                   |
| 10 : 0                                     | 60 : 52                              | 7,935                        | 0,716                   |
| 15 : 0                                     | 61 : 19                              | 7,605                        | 0,683                   |
| 20 : 0                                     | 59 : 59                              | 7,281                        | 0,654                   |
| 25 : 0                                     | 57 : 54                              | 6,918                        | 0,625                   |
| 30 : 0                                     | 55 : 21                              | 6,587                        | 0,599                   |
| 35 : 0                                     | 52 : 26                              | 6,044                        | 0,573                   |
| 40 : 0                                     | 49 : 4                               | 5,526                        | 0,550                   |
| 45 : 0                                     | 45 : 5                               | 4,962                        | 0,531                   |
| 50 : 0                                     | 40 : 6                               | 4,359                        | 0,518                   |
| Момент неустойчивого равновесия<br>52 : 34 | 36 : 54                              | 4,043                        | 0,518                   |

Рис. 10

Кнопка [Сохранить отчёт] позволяет сохранить расчетные данные в виде текстового файла. При нажатии на кнопку появляется стандартное диалоговое окно Windows сохранения файла на диске.

Кнопка [Настройки] (рис. 5) вызывает форму, позволяющую задать шаг при расчете и количество знаков после запятой при выводе расчетных данных на экран (рис. 11).

Рис. 11

Кнопка [Демонстрация подъема] (рис. 5) вызывает форму трехмерного изображения поднимаемого объекта, которая позволяет пронаблюдать подъем аппарата под любым углом (рис. 12).

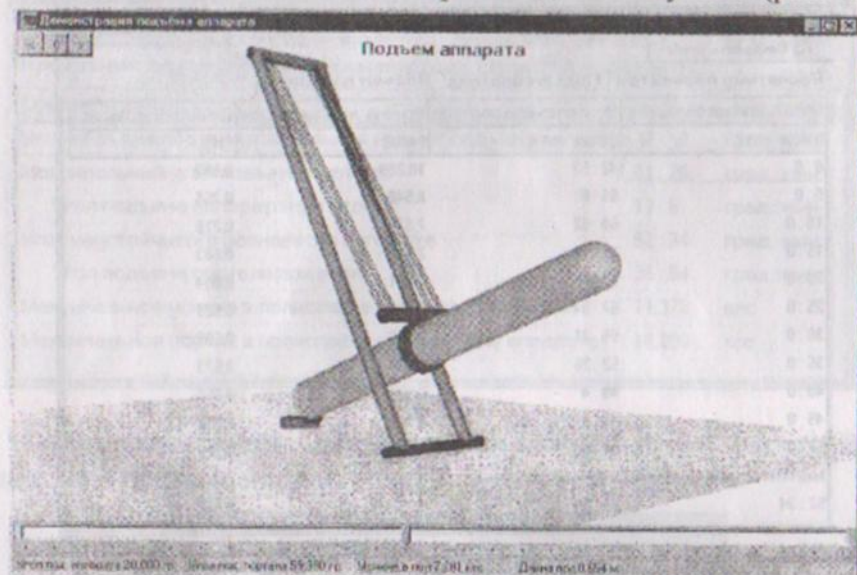


Рис.12

Полоса прокрутки позволяет задать нужный угол подъема аппарата. Под полосой прокрутки показываются значения угла подъема аппарата, угла подъема портала, усилие в полиспадах и длина полиспада.

#### Исходные данные к расчету

$P = 57 \text{ Н}$ ;  $\ell_{\text{ц.м.}} = 0,3 \text{ м}$ ;  $\ell_{\text{ап}} = 0,7 \text{ м}$ ;  $P_n = 16 \text{ Н}$ ;  $c = 0,05 \text{ м}$ ;  $\ell = 0,7 \text{ м}$ ;  $\ell_n = 0,4 \text{ м}$ ;  $b = 0,3 \text{ м}$ ;  $h = 0,09 \text{ м}$ ;  $h_1 = 0,04 \text{ м}$ ;  $\alpha = 0$ ; значения величин ( $P$ ,  $P_n$ ,  $\ell$ ,  $\ell_n$ ,  $b$ ,  $h$ ,  $h_1$ ) преподавателем могут изменяться.

Отчет должен содержать:

1) номер и наименование работы; 2) цель работы; 3) расчетную схему и исходные данные к расчету; 4) расчеты усилий в

грузовых полиспадах и характерных углов портала и аппарата для разных углов наклона портала ( $\alpha$ ) и аппарата ( $\varphi$ ) к горизонту; шаг изменяющихся углов принять равным  $5 \div 10^\circ$  (результаты расчетов свести в таблицу); 5) результаты эксперимента по подъему колонного аппарата безъякорным методом и сравнение экспериментальных данных с расчетными; 6) выводы по работе.

Лабораторная работа № 2  
**МОНТАЖ КОЛОННОГО АППАРАТА МЕТОДОМ  
 ВЫЖИМАНИЯ СКОльзяЩЕЙ ПО РЕЛЬСАМ ПОДПОРКОЙ**

*Цель работы:* изучение последовательности монтажа колонных аппаратов с помощью скользящей по рельсам подпорки и определение усилий в такелажной оснастке.

Этот метод является разновидностью безъякорного метода подъема аппарата колонного типа путем поворота вокруг шарнира. 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, вставляется ось), а верхняя приподнимается насколько это возможно и укладывается на временную опору, в качестве которой используется шпальная выкладка или металлические козлы.

Подъем аппарата производится при помощи одной, двух или трех рамных опор (подъемных подпорок) – рис. 1 и 2. Верхний конец каждой подпорки шарнирно закреплен на аппарате, а нижний, перемещаясь, создает необходимое для подъема аппарата усилие. Для соединения верхних концов подпорок с аппаратом выше его центра массы крепятся или привариваются одна или две поворотные цапфы, находящиеся на уровне верхней образующей аппарата (расположенного горизонтально) или выше. В некоторых случаях используются тросовые подвески, соединяющие ригель подпорки (верхний её конец) с верхней и нижней частями колонны. При этом нижнюю ветвь подвески рекомендуется выполнить в виде полиспаста, что позволяет в начале подъема увеличить угол наклона подпорки к горизонту пу-

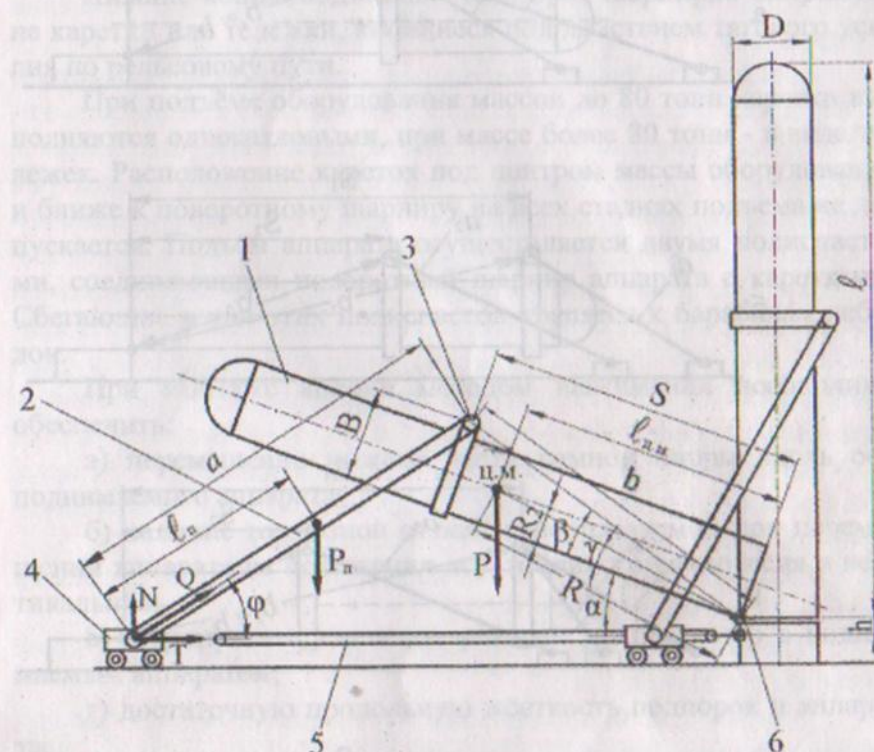


Рис.1. Расчетная схема определения усилий при подъеме аппарата одной опорой (промежуточное и конечное положения);  
 1-аппарат; 2-рамная опора (подпорка); 3-поворотная цапфа;  
 4-каретка; 5-полиспаст; 6-поворотный шарнир

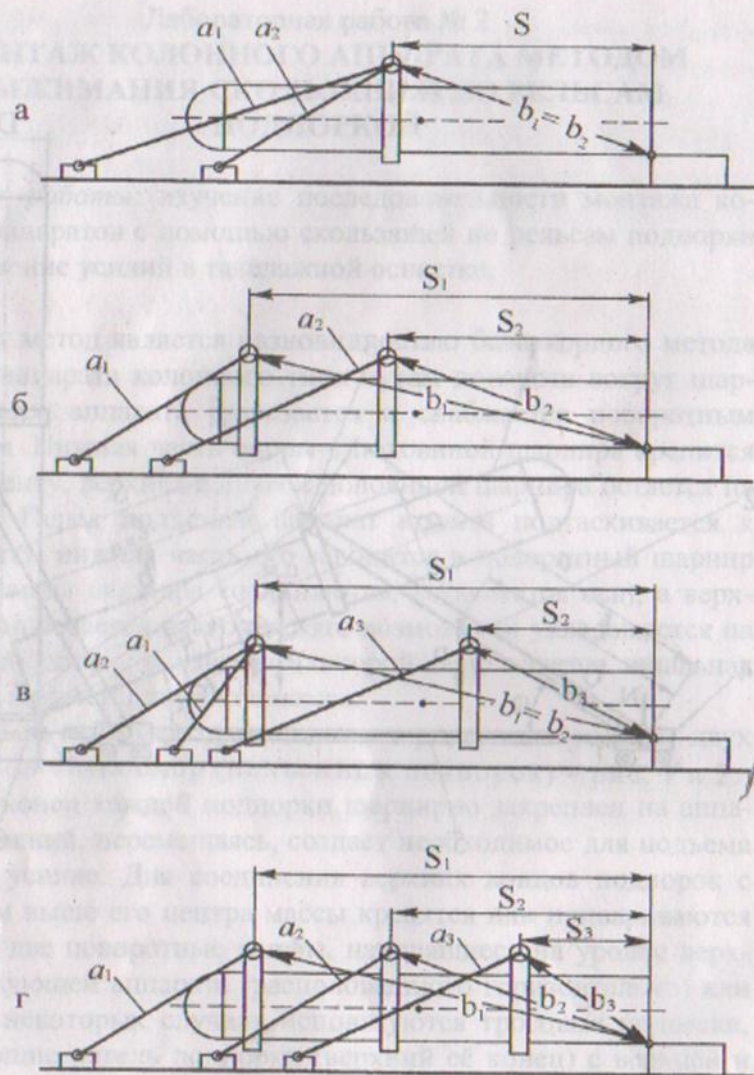


Рис. 2. Подъем аппарата двумя (а, б) и тремя (в, г) рамными опорами (исходное положение)

тем удлинения подвески и тем самым уменьшить нагрузку на такелажную оснастку.

Нижние концы подъемных подпорок шарнирно опираются на каретки или тележки, катящиеся под действием тягового усилия по рельсовому пути.

При подъеме оборудования массой до 80 тонн каретки выполняются однокатковыми, при массе более 80 тонн - в виде тележек. Расположение кареток под центром массы оборудования и ближе к поворотному шарниру на всех стадиях подъема не допускается. Подъем аппарата осуществляется двумя полиспастами, соединяющими поворотный шарнир аппарата с каретками. Сбегающие ветви этих полиспастов крепятся к барабанам лебёдок.

При монтаже колонн методом выжимания необходимо обеспечить:

- перемещение нижней части рамной опоры вдоль оси поднимаемого аппарата;
- наличие тормозной оттяжки, используемой при перемещении аппарата из положения неустойчивого равновесия в вертикальное;
- шарнирное соединение ригелей рамных опор с поднимаемым аппаратом;
- достаточную продольную жёсткость подпорок и аппарата;
- 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, поэтому данный способ позволяет устанавливать аппараты на высокие фундаменты (высотой до 2 м). Грузовые полиспасты располагаются внизу, что обеспечивает удобный контроль за их состоянием во время подъёма.

В начальный момент подъема в такелажной оснастке возникают усилия, превышающие в 1,5 раза вес аппарата, поэтому в месте установки поворотных цапф иногда необходимо усиление его корпуса.

Простейшим вариантом является подъем с использованием одной достаточно длинной подпорки, позволяющей поднять аппарат из горизонтального или слегка наклонного положения в вертикальное (рис.1). При этом в начале подъема угол наклона подпорки к горизонту оказывается малым, а усилие в ней и в полиспасте - большим. Для уменьшения начальных усилий используют две или три последовательно работающие подпорки разной длины. Каждая подпорка опирается на свою каретку, снабженную полиспастом. Верхние концы подпорок соединяются с одной, двумя или тремя поворотными цапфами, закрепленными в разных местах по длине аппарата. С целью уменьшения усилий сначала используется более короткая подпорка или подпорка, расположенная ближе к вершине аппарата, а затем - более длинная или расположенная ближе к его основанию.

На практике используются следующие варианты подъема с двумя и более подпорками:

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

#### Описание установки

Схема установки представлена на рис.3. Установка представляет собой монтажный стол 1 (размеры в плане 1400 х

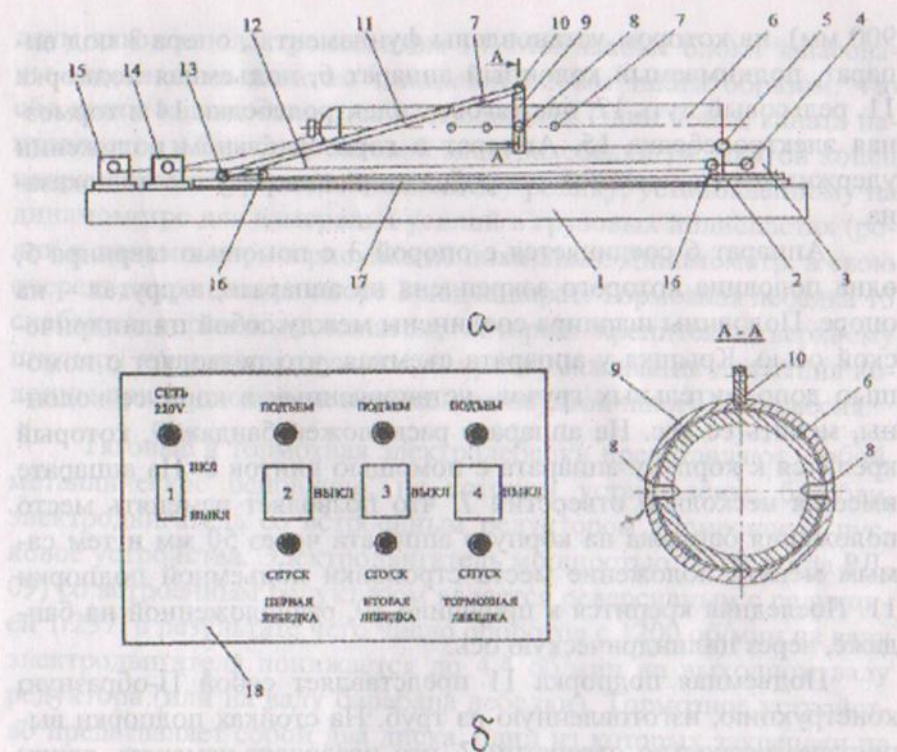


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки: а - схема установки; б - схема пульта управления; 1 - монтажный стол; 2 - фундамент; 3 - опора; 4 - монтажные штуцера; 5 - шарнир аппарата; 6 - аппарат; 7 - отверстия; 8 - винт; 9 - бандаж; 10 - проушина; 11 - подъемная подпорка; 12 - полиспаст; 13 - ролик; 14 - тяговые электролебедки; 15 - тормозная электролебедка; 16 - монтажные блоки; 17 - рельсы; 18 - пульт управления

900 мм), на котором установлены фундамент 2, опора 3 под аппарат, поднимаемый колонный аппарат 6, подъемная подпорка 11, рельсовый путь 17, две тяговые электролебедки 14 и тормозная электролебедка 15. Аппарат в горизонтальном положении удерживается временной опорой, которая на рисунке не показана.

Аппарат 6 соединяется с опорой 3 с помощью шарнира 5, одна половина которого закреплена на аппарате, а другая — на опоре. Половины шарнира соединены между собой цилиндрической осью. Крышка у аппарата съемная, что позволяет с помощью дополнительных грузов, установленных в корпусе колонны, менять ее вес. На аппарате расположен бандаж 9, который крепится к корпусу аппарата с помощью винтов 8. На аппарате имеется несколько отверстий 7, что позволяет изменять место положения бандаж на корпусе аппарата через 50 мм и тем самым менять положение места строповки подъемной подпорки 11. Последняя крепится к проушине 10, расположенной на бандаже, через цилиндрическую ось.

Подъемная подпорка 11 представляет собой П-образную конструкцию, изготовленную из труб. На стойках подпорки выполнено несколько отверстий 7, что позволяет изменять длину подпорки дискретно на 50 мм от минимального значения 530 мм до максимального — 630 мм. На нижних концах подпорки 11 на подшипниках качения установлены ролики 13, которые перемещаются с помощью полиспастов 12 по рельсовому пути 17.

Аппарат и подъемная подпорка снабжены угломерами (на рисунке не указаны), которые позволяют измерять угол наклона аппарата и подпорки к горизонту.

Полиспаст 12 представляет собой два монтажных двухрольных блока 16, один из которых закреплен с помощью серьги (на рисунке не показана) за монтажный штупер 4 на опоре 3, а другой — за нижний конец подпорки 11. Установка снабжена двумя полиспастами, сбегающие ветви которых направляются к

двум тяговым электролебедкам 14. Монтажные блоки запасованы капроновым канатом толщиной 1,5 мм таким образом, что оба конца каната являются сбегающими. Один конец каната направляется к барабану тяговой электролебедки 14. Другой конец направляется к уравнивающему ролику, установленному на динамометре для измерения усилий в грузовых полиспастах (ролик и динамометр на рисунке не показаны). Динамометр, в свою очередь, закреплён на опоре 3 под аппарат. Тормозная лебедка 15 снабжена тормозным канатом, который крепится к верхнему штуперу колонны и служит для притормаживания движения колонны при подходе ее к положению неустойчивого равновесия.

Тяговые и тормозная электролебедки представляют собой металлическое основание, на котором установлены: барабан, электродвигатель со встроенным редуктором, тормозное и пусковое устройства. Электродвигатель мощностью 10 Вт (типа РД-09) со встроенным редуктором является реверсивным с редукцией 1/237, в результате чего число оборотов с 1200 об/мин на валу электродвигателя понижается до 4,4 об/мин на выходном валу редуктора (или на валу барабана лебедки). Тормозное устройство представляет собой два диска, один из которых закреплён на барабане лебедки и имеет ряд отверстий, расположенных по окружности, а другой — на электромагните и имеет выступы. Таким образом, торможение и пуск барабанов лебедок автоматически управляется электромагнитами, которые питаются от сети переменного тока напряжением 220В через пульт управления 18 (рис. 3 б).

Пульт управления лебедками вмонтирован в монтажный стол. Он питается от сети переменного тока напряжением 220В и имеет на своей панели, расположенной на монтажном столе, четыре выключателя и сигнальные лампочки. Первый выключатель красного цвета является двухпозиционным и служит для включения в сеть. Он имеет два положения: «вкл» и «выкл».

Выключатели 2, 3 и 4 для лебедок являются трехпозиционными и имеют три положения: «подъем», «спуск» и «выкл».

Работает установка следующим образом. После проверки правильности исходного положения (колонна должна находиться в горизонтальном положении), исправности механизмов и правильности запасовки полиспастов приступают к подъему колонны. Для этого одновременно включают тяговые лебедки 14 на подъем. Затем включают тормозную лебедку с целью ослабления натяжения тормозного каната. Последний должен свободно провисать под собственным весом на протяжении всего процесса подъема колонны до положения неустойчивого равновесия, которое заранее рассчитывается для заданных геометрических параметров элементов установки. Сбегающие ветви полиспастов 12 после включения тяговых лебедок начинают наматываться на барабаны лебедок. Длина полиспастов уменьшается, и усилия в них возрастают. При некотором значении усилия в полиспастах нижние концы подпорки 11, на которых установлены ролики, начинают передвигаться по рельсовому пути в направлении фундамента. В результате аппарат отрывается от земли (от временной опоры) и начинает подниматься. При этом неравномерность скорости вращения барабанов лебедок компенсируется уравнивающим роликом (на рисунке не показан).

Подъем аппарата выполняют с периодическими остановками (например, через  $10^\circ$ ). При этом осматривают исправность такелажной оснастки (в частности, исправность запасовки грузовых полиспастов) и проводят экспериментальные замеры. По угломерам (на рисунке не показаны) фиксируют угол подъема аппарата и подпорки, а по диаметру, установленному на линии полиспастов, — усилия в грузовых полиспастах. На установке смонтированы два четырехкратных полиспаста. Но поскольку схема их запасовки такова, что имеется уравнивающий ролик, то значение усилия по диаметру увеличивается не в 8 раз (это число равно кратности двух полиспастов), а в 6 раз. Это

число соответствует числу рабочих ветвей двух полиспастов. Рабочими ветвями полиспаста называют число канатов, на которых подвешен груз (колонна). При этом трение в роликах, установленных на подшипниках качения, не учитывается.

Подъем колонны производят до положения неустойчивого равновесия аппарата, которое рассчитывают заранее. При подходе к этому положению тормозной канат натягивают и в дальнейшем визуально следят за его натяжением. Положение неустойчивого равновесия также определяют визуально. После его достижения аппарат плавно опускают на опору тормозным канатом при включении реверса тормозной лебедки.

В исходное состояние установка приводится следующим образом. С помощью тормозного каната система аппарат — подпорка выводится из вертикального положения в положение неустойчивого равновесия. Затем, включив тяговые лебедки на спуск, возвращают колонну и подпорку в исходное положение.

Описание компьютерной расчетно-демонстрационной программы монтажа колонных аппаратов методом выжимания аналогично приведенному в лабораторной работе №1.

#### Расчетная часть лабораторной работы

Основными исходными данными для расчета являются (рис. 1): вес аппарата  $P$ , его высота  $\ell$  и диаметр  $D$ , высота центра массы от шарнира  $\ell_{cm}$ , высота фундамента над шарниром тележки  $h$ , коэффициент трения качения каретки по рельсовому пути  $f$ , вес  $P_n$  и длина рамных опор ( $a_1, a_2, a_3$ ), расстояния от шарнира аппарата до поворотных цапф ( $b_1, b_2, b_3$ ). Вариант подъема и исходные данные назначаются преподавателем; часть (например, длины подпорок, размеры  $S_1, S_2, S_3$ ) может быть выбрана самими студентами.

При выполнении работы произвести необходимые расчеты и представить в отчете:

1. Номер, название и цель работы.

2. Для ряда углов подъёма аппарата (например, 0, 10, 20, 30, 45, 60, 70 градусов) начертить в масштабе положения аппарата и рамных опор (подпорок), построить треугольники сил (без учета веса подпорок). При этом уточняются длины подпорок и расположение поворотных цапф.

3. Рассчитать угол подъёма, соответствующий положению неустойчивого равновесия аппарата.

4. Для ряда положений аппарата (через 5 или 10 градусов) в пределах от  $\alpha = 0$  до  $\alpha_{н.р.}$  рассчитать усилия в рамных опорах ( $Q, Q_1$ ), в полиспасте ( $T, T_1$ ), давление кареток на рельсовый путь ( $N$ ) с учётом веса рамных опор. Результаты расчётов представить в виде таблицы.

#### Расчётные формулы

1. Угол неустойчивого равновесия аппарата:

$$\alpha_{н.р.} = 90^\circ - \arctg(R_2 / \ell_{ц.м.}), \quad (1)$$

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

2. Продольное усилие (сжатие) в подпорке с учётом её веса в процессе подъёма (аппарат поднят на угол  $\alpha$ ):

$$Q = \frac{P \cdot R \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{b \cdot \sin(\alpha + \beta + \varphi)} + \frac{P_n \cdot \ell_n \cdot \cos(\varphi)}{a \cdot \tg(\alpha + \beta + \varphi)}, \quad (2)$$

где  $P$  — вес аппарата, Н;  $R$  — кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до его центра массы, м;  $b$  — кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до точки крепления подпорки (до оси поворотной цапфы), м;  $P_n$  — вес подпорки, Н;  $\ell_n$  — расстояние от нижнего конца подпорки до её центра массы, м;  $a$  — длина подпорки (рамной опоры), м;  $\varphi$  — угол наклона подпорки к

горизонту, градус;  $\alpha$  — угол наклона аппарата к горизонту, градус.

$$\text{Очевидно, } R = \sqrt{\ell_{ц.м.}^2 + R_2^2}, \quad b = \sqrt{S^2 + B^2}.$$

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

$$\beta = \arctg(B/S), \quad (3)$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{R_2}{\ell_{ц.м.}}\right), \quad (4)$$

где  $B$  — расстояние по ширине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы (т.е. до верхнего конца подпорки), м;  $S$  — то же, но по длине аппарата, м.

Угол  $\varphi$  находится из соотношения

$$\sin(\varphi) = \frac{b \cdot \sin(\alpha + \beta)}{a} + \frac{h}{a}. \quad (5)$$

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

$$N = P_n + Q \cdot \sin \varphi - Q_1 \cdot \cos \varphi, \quad (6)$$

где поперечная  $Q_1$  составляющая силы давления аппарата на подпорку равна

$$Q_1 = \frac{P_n \cdot \ell_n \cdot \cos \varphi}{a}, \quad (7)$$

4. Усилие в полиспасте в процессе подъёма аппарата

— без учёта трения каретки о рельсы:

$$T = Q \cdot \cos \varphi + Q_1 \cdot \sin \varphi, \quad (8)$$

— с учётом трения:

$$T_1 = T + f \cdot N. \quad (9)$$

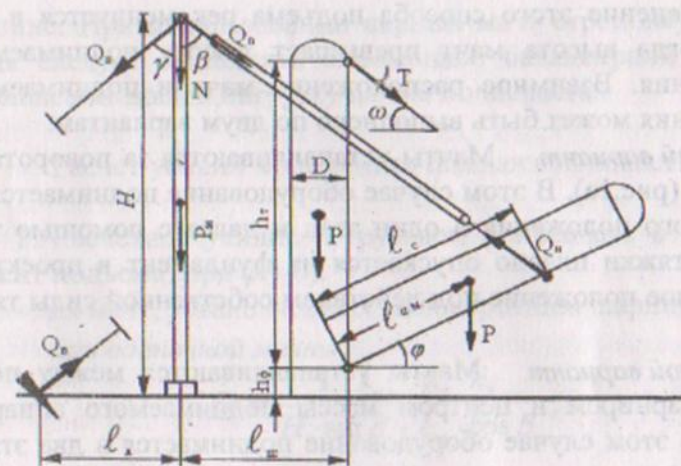
При подъёме двумя или тремя подпорками предварительно определяется область применения (пределы углов  $\alpha$ ) каждой подпорки. Затем по вышеприведённым формулам рассчитываются усилия отдельно для каждой области. Производится сравнение экспериментальных данных с результатами расчёта.

Лабораторная работа № 3  
**ПОДЪЕМ ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ПОВОРОТА  
 ВОКРУГ ШАРНИРА МОНТАЖНЫМИ МАЧТАМИ**

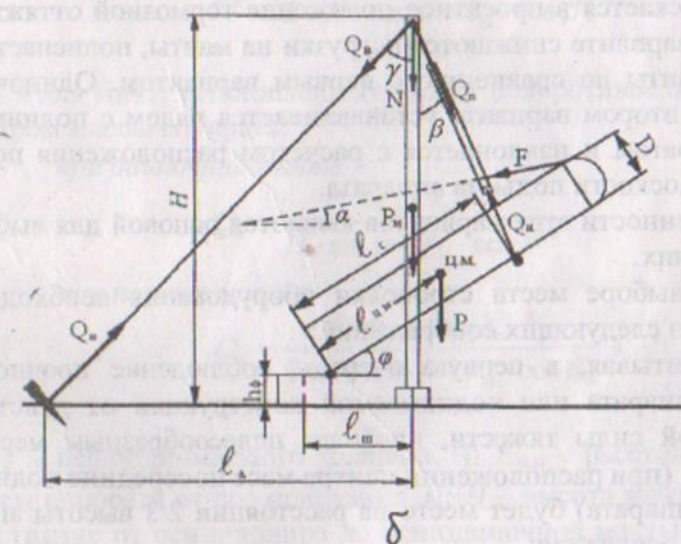
*Цель работы:* изучение особенностей монтажа аппаратов методом поворота вокруг шарнира и определение усилий в такелажной оснастке.

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 обладает следующими преимуществами: 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.

Перед подъемом аппарат укладывают опорной частью на фундамент и закрепляют в шарнире (рис. 1а, б). Подъем выполняют одной или двумя мачтами; в последнем случае следует применять балансирные траверсы или непрерывно контролировать нагрузки на мачты по показателям приборов. Подвижный блок грузового полиспаста стропят либо за вершину, либо за корпус аппарата. Приподняв верхний конец аппарата на 100 – 200 мм (это положение соответствует максимальным нагрузкам), проверяют надежность такелажной оснастки и грузоподъемных механизмов. Дальнейший подъем выполняют с периодическими остановками через каждые 15 – 20°. Перед моментом подхода аппарата к нейтральному положению (положению неустойчивого равновесия) натягивают тормозной канат, который постепенно ослабляют при дальнейшем движении аппарата.



а



б

Рис. 1. Расчетная схема подъема аппарата методом поворота вокруг шарнира

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.1а). 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.1б). В этом случае оборудование поднимается в два этапа: вначале с помощью мачт на максимально возможный угол, а затем дотягивающей системой до нейтрального положения 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 балансирующей траверсы, уравнивающей нагрузку на оба полиспаста.

Расчет усилий в элементах такелажной оснастки

1. Расчетное усилие в грузовом полиспасте в начальный момент подъема (при  $\varphi = 0$ ):

- для мачт, установленных за поворотным шарниром:

*при одиночной мачте*

$$Q_n = \frac{P \cdot \ell_{ц.м.} \cdot k_n \cdot k_d}{H \cdot \sin \beta - \ell_{ш} \cdot \cos \beta}; \quad (1)$$

*при парных мачтах*

$$Q_n = \frac{P \cdot \ell_{ц.м.} \cdot k_n \cdot k_d}{2 \cdot (H \cdot \sin \beta - \ell_{ш} \cdot \cos \beta)}; \quad (2)$$

- для мачт, установленных между поворотным шарниром и центром массы аппарата:

*при одиночной мачте*

$$Q_n = \frac{P \cdot \ell_{ц.м.} \cdot k_n \cdot k_d}{H \cdot \sin \beta + \ell_{ш} \cdot \cos \beta}; \quad (3)$$

*при парных мачтах*

$$Q_n = \frac{P \cdot \ell_{ц.м.} \cdot k_n \cdot k_d}{2 \cdot (H \cdot \sin \beta + \ell_{ш} \cdot \cos \beta)}; \quad (4)$$

где  $P$  – вес поднимаемого аппарата, Н;  $\ell_{ц.м.}$  – расстояние центра массы аппарата от его основания, м;  $H$  – высота мачты, м;  $\ell_{ш}$  – расстояние от оси шарнира до оси одиночной мачты (или плоскости установки парных мачт), м;  $k_n$  – коэффициент неравномерности нагрузки на такелажные элементы с использованием спаренных мачт ( $k_n = 1,1$  – при использовании балансирующих уст-

роисств;  $k_n = 1,2$  – при отсутствии балансирующих устройств);  $k_n = 1,1$  – коэффициент перегрузки, учитывающий возможное отклонение фактической нагрузки от нормативного значения вследствие неточного определения центра массы аппарата, а также вследствие изменчивости нагрузки;  $k_d = 1,1$  – коэффициент динамичности, учитывающий повышение нагрузки на такелажную оснастку, связанное с изменением скорости подъема или опускания груза.

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

- в случае, если мачты устанавливаются за поворотным шарниром:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\ell_c \cdot \cos \varphi + \ell_m}{H - h_{\phi} - \ell_c \cdot \sin \varphi},$$

- в случае, если мачты устанавливаются между поворотным шарниром и центром массы аппарата:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\ell_c \cdot \cos \varphi - \ell_m}{H - h_{\phi} - \ell_c \cdot \sin \varphi},$$

где  $\ell_c$  – расстояние места строповки аппарата от его основания, м;  $h_{\phi}$  – высота фундамента, м.

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

2. Усилие в задней ванте независимо от места расположения мачт:

$$Q_a = Q_n \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}. \quad (5)$$

Угол  $\gamma$  (между мачтой и вантой) определяется графически или по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\ell_n}{H},$$

где  $\ell_n$  – расстояние от мачты до якоря ванта, м.

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

3. Суммарное усилие, действующее вдоль оси мачты:

$$N = Q_n \cdot \cos \beta + (Q_n + n_a \cdot S_a) \cdot \cos \gamma + S_n + P_m \cdot k_n, \quad (6)$$

где  $n_a$  – количество вант мачты, кроме рабочей (задней);  $S_a$  – усилие предварительного натяжения вант, 1,0 – 3,0 Н (на схеме не показано);  $S_n$  – усилие в сбегающем конце грузового полиспаста, Н (на схеме не показано);  $P_m$  – вес мачты, Н.

Усилие в сбегающем конце грузового полиспаста, идущем на лебедку ( $S_n$ ), определяется из выражения

$$S_n = Q_n \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \eta^m},$$

где  $\eta$  – к.п.д. одного ролика в блоке ( $\eta = 0,96$  при установке ролика на подшипниках скольжения;  $\eta = 0,98$  при установке ролика на подшипниках качения);  $m$  – кратность полиспаста (как правило, равна общему количеству роликов в полиспасте).

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

4. Усилие в тормозной оттяжке:

$$T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot h_m \cdot \cos \omega}, \quad (7)$$

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

По усилию  $T$  рассчитывают трос для тормозной оттяжки и подбирают лебедку.

При остановке мачт по второму варианту рассчитывают дотягивающую систему для подъема аппарата на втором этапе от угла подъема мачтами до нейтрального положения. С этой целью определяют максимальное усилие  $F$  для дотягивания аппарата до нейтрального положения (см. рис. 16), задаваясь углом наклона дотягивающей системы  $\alpha$  к горизонту.

#### Описание установки

Лабораторная установка (рис. 2) состоит из следующих основных элементов: монтажный стол 2, колонный аппарат 4 и фундамент под него 5, две мачты 7, две тяговые 3 и одна тормозная 1 электролебедки, полиспасты 8 и отводные блоки 6.

Колонна диаметром 80 мм и длиной 700 мм снабжена двумя монтажными штуперами 14, к которым крепятся подвижные блоки 13 полиспастов.

Мачты трубчатой конструкции состоят из верхней, нижней и нескольких средних секций. Соединение секций мачт осуществляется с помощью фланцев. Это позволяет изменять высоту мачт. Нижняя секция мачты с помощью цилиндрического шарнира соединяется с опорой 12, которая неподвижно закреплена на монтажном столе. Верх мачты (оголовок) 9 выполнен вращающимся. К нему крепятся неподвижный блок 10 полиспаста, сбегаящая ветвь которого через отводной ролик 6 (на опоре мачты) направляется к барабану тяговой лебедки 3. Мачты

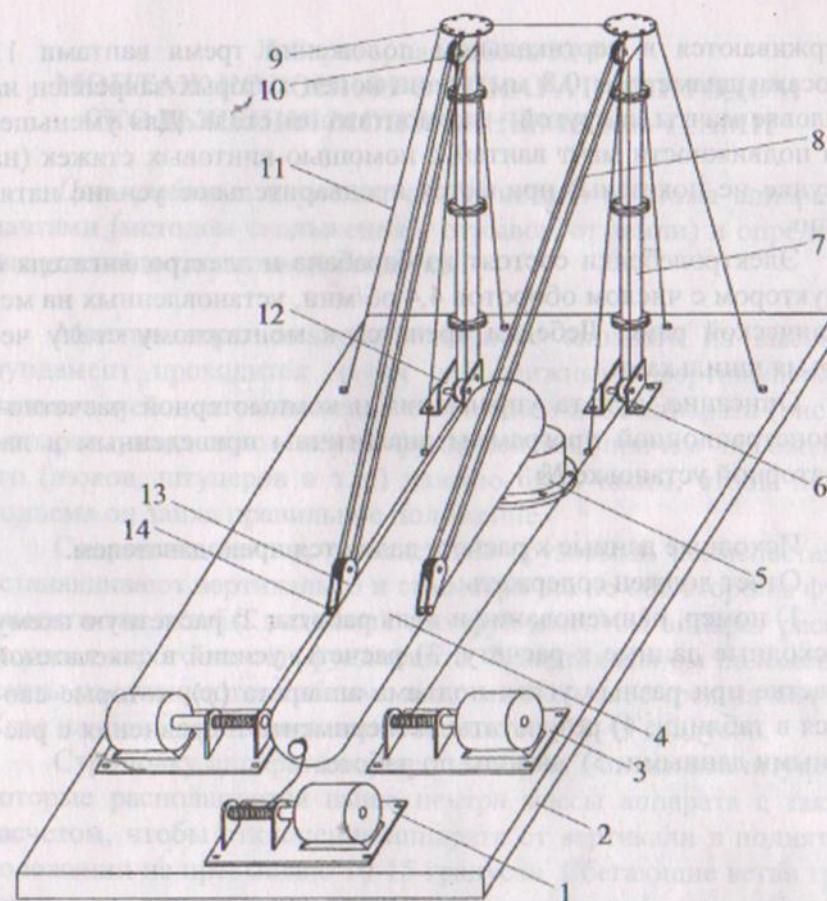


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

1 – тормозная электролебедка; 2 – монтажный стол; 3 – тяговая электролебедка; 4 – колонна; 5 – фундамент; 6 – отводной блок; 7 – трубчатая мачта; 8 – полиспаст; 9 – оголовок мачты; 10 – неподвижный блок; 11 – ванта; 12 – опора; 13 – подвижный блок; 14 – монтажный штупер

удерживаются в вертикальном положении тремя вантами 11 (тросами диаметром 0.8 мм), один конец которых закреплен на оголовке мачты, а другой – на монтажном столе. Для уменьшения подвижности мачт вантам с помощью винтовых стяжек (на рисунке не показаны) придается предварительное усилие натяжения.

Электролебедки состоят из барабана и электродвигателя с редуктором с числом оборотов 4,4 об/мин, установленных на металлической раме. Лебедки крепятся к монтажному столу четырьмя шпильками.

Описание, пульта управления и компьютерной расчетно-демонстрационной программы аналогичны приведенным в лабораторной установке № 1.

Исходные данные к расчету задаются преподавателем.

Отчет должен содержать:

1) номер, наименование и цель работы; 2) расчетную схему и исходные данные к расчету; 3) расчеты усилий в такелажной оснастке при разных углах подъема аппарата ( $\varphi$ ), которые сводятся в таблицу; 4) результаты эксперимента и сравнения с расчетными данными; 5) выводы по работе.

#### Лабораторная работа № 4 МОНТАЖ КОЛОННОГО АППАРАТА МЕТОДОМ СКОЛЬЖЕНИЯ МОНТАЖНЫМИ МАЧТАМИ

*Цель работы:* изучение особенностей монтажа аппаратов мачтами (методом скольжения с отрывом от земли) и определение усилий в такелажной оснастке.

Монтаж вертикального колонного аппарата на высокий фундамент проводится двумя неподвижными вертикальными мачтами методом скольжения с оттяжкой низа аппарата (рис.1). Аппарат укладывают перед фундаментом, причем положение его (люков, штуцеров и т.д.) должно быть таким, чтобы после подъема он занял правильное положение.

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 (не менее трех на мачту). Угол наклона вант к вертикали составляет 30-45 градусов.

Строповку аппарата осуществляют за монтажные штуцера, которые располагаются выше центра массы аппарата с таким расчетом, чтобы отклонение аппарата от вертикали в поднятом положении не превышало 10-15 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.

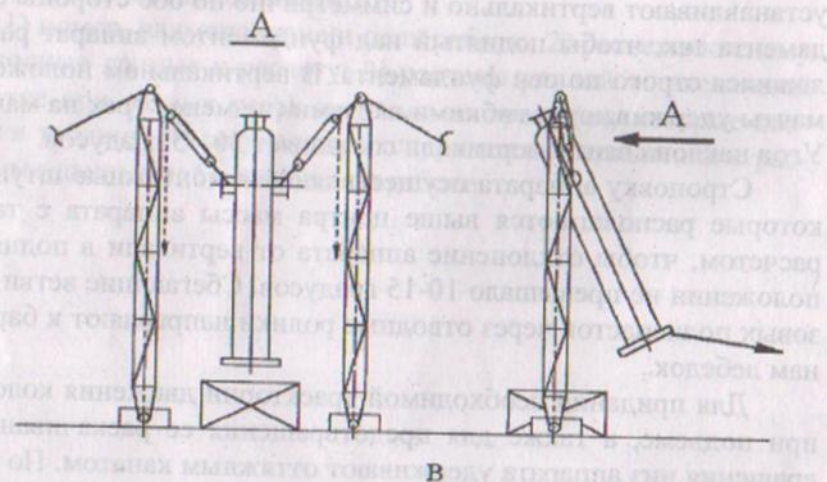
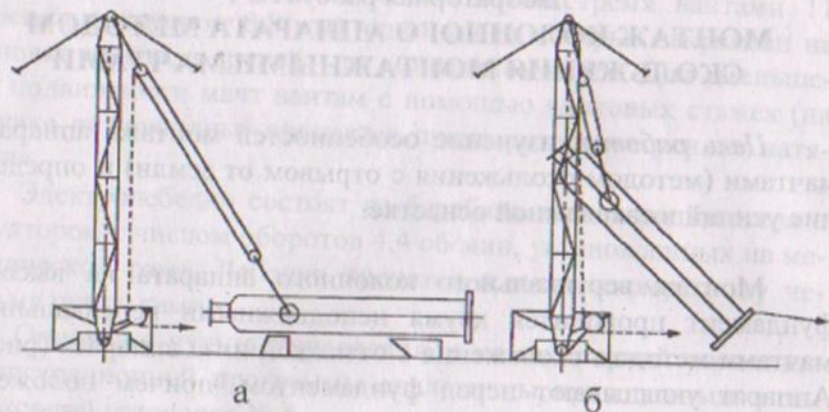


Рис. 1. Схема подъема аппаратов методом скольжения двумя вертикальными мачтами

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, 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, выводят 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 в грузовых полиспастах ( $T$  и  $T_1$ ), тормозной оттяжке ( $Q_{10}$ ), задней и боковой вангах ( $Q_5$  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 расчетными нагрузками;
- необходимые зазоры между поднимаемым оборудованием и конструкцией мачты (не менее 500 мм), между сбегающей 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.

Кроме того, необходимо обеспечить правильность подъема аппарата (не превышать максимально допустимый перекося, возникающий вследствие возможной перегрузки одного из полиспастов). Перекося можно контролировать по отклонению низа аппарата при подъеме.

Определение усилий в элементах такелажной оснастки

Обозначения (рис. 2):

$P, P_m, P_{г.п.}$  — вес соответственно поднимаемого груза (колонны), мачты, грузовых полиспастов, Н;

$S$  — усилие в сбегающей нитке грузового полиспаста, идущей на лебедку, Н (на рис.2 не показано);

$S_1$  — усилие предварительного натяжения одной ванты, Н (на рис.2 не показано);

$n$  — число вант на одной мачте;

$k_d = 1,1$  — коэффициент динамичности;

$\ell$  — длина мачты, м;

$a$  — расстояние от оси мачты до якоря задней ванты, м;

$c$  — длина задней ванты, м;  $c = \sqrt{\ell^2 + a^2}$

$b$  — расстояние между осями мачт, м;

$g$  — расстояние от оси мачты до якоря боковой ванты, м;

$d$  — расстояние от основания мачты до точки пересечения осей полиспастов, оттяжки и веса груза (вертикали, проходящей через центр массы груза), м;

$f$  — расстояние от точки пересечения осей полиспастов, оттяжки и веса груза до якоря оттяжки, м;

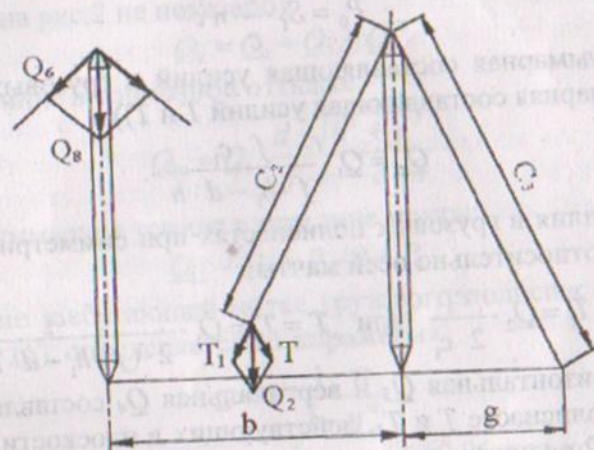
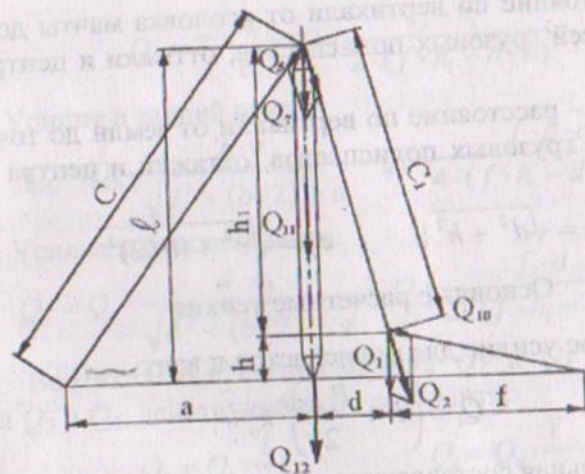


Рис.2. Расчетная схема определения усилий в двух мачтах при подъеме груза с оттяжкой

$h_1$  — расстояние по вертикали от оголовка мачты до точки пересечения осей грузовых полиспастов, оттяжки и центра массы груза, м;

$h = (\ell - h_1)$  — расстояние по вертикали от земли до точки пересечения осей грузовых полиспастов, оттяжки и центра массы груза, м;

$$c_1 = \sqrt{d^2 + h^2}; \quad c_2 = \sqrt{c^2 + (b/2)^2}$$

Основные расчетные усилия

1. Расчетное усилие для полиспастов и вант:

$$Q_1 = \left( P + \frac{P_{э.п.}}{2} \right) \cdot k_d$$

2. Вертикальная составляющая от усилия предварительного натяжения:

$$P_0 = S_1 \cdot \frac{\ell}{c} \cdot n$$

3. Суммарная составляющая усилий в грузовых полиспастах (суммарная составляющая усилий  $T$  и  $T_1$ ):

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

4. Усилия в грузовых полиспастах при симметричном подвесе груза относительно осей мачты:

$$T = T_1 = Q_2 \cdot \frac{c_2}{2 \cdot c_1} \quad \text{или} \quad T = T_1 = Q_1 \cdot \frac{f \cdot c_2}{2 \cdot (f \cdot h_1 - d \cdot h)}$$

5. Горизонтальная  $Q_3$  и вертикальная  $Q_4$  составляющие от усилий в полиспасте  $T$  и  $T_1$ , действующих в плоскости полиспаста (на рис.2 не показаны):

$$Q_3 = T \cdot \frac{\sqrt{d^2 + (b/2)^2}}{c_2} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot \sqrt{d^2 + (b/2)^2}}{2 \cdot (f \cdot h_1 - d \cdot h)}$$

$$Q_4 = T_1 \cdot \frac{h_1}{c_2} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot h_1}{2 \cdot (f \cdot h_1 - d \cdot h)}$$

6. Усилие в задней ванте:

$$Q_5 = Q_3 \cdot \frac{b \cdot c}{\sqrt{d^2 + (b/2)^2} \cdot a} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot b \cdot c}{4 \cdot (f \cdot h_1 - d \cdot h) \cdot a}$$

7. Усилие в боковой ванте:

$$Q_6 = Q_3 \cdot \frac{d \cdot c_3}{\sqrt{d^2 + (b/2)^2} \cdot g} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot d \cdot c_3}{2 \cdot (f \cdot h_1 - d \cdot h) \cdot g}$$

8. Вертикальные составляющие  $Q_7$  и  $Q_8$  соответственно усилий  $Q_5$  и  $Q_6$ , действующие по оси мачты:

$$Q_7 = Q_5 \cdot \frac{\ell}{c}; \quad Q_8 = Q_6 \cdot \frac{\ell}{c_3}$$

9. Суммарное усилие от веса груза, действующее на оголовок мачты (на рис.2 не показано):

$$Q_9 = Q_4 + Q_7 + Q_8$$

10. Усилие в тормозной оттяжке:

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

11. Суммарное усилие в середине мачты:

$$Q_{11} = Q_9 + P_{э.п.}/2 + P_0$$

Усилие в сбегающей нитке грузового полиспаста, идущей на лебедку ( $S$ ), определяется из выражения

$$S = T \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \eta^m}$$

где  $\eta$  — к.п.д. одного ролика в блоке ( $\eta=0.96$  при установке ролика на подшипниках скольжения;  $\eta=0.98$  при установке на подшипниках качения);  $m$  — кратность полиспаста (в данной работе  $m=6$ ).

12. Суммарное усилие на основание мачты:

$$Q_{12} = Q_9 + P_0 + P_n$$

#### Описание установки

Лабораторная установка состоит из следующих основных элементов: монтажный стол, колонный аппарат и фундамент под него, две мачты, две тяговые и одна тормозная электролебедки, полиспасты и отводные блоки.

Колонна диаметром 80 мм выполнена из царг, что позволяет изменять ее высоту. На корпусе колонны имеются два монтажных штуцера, к которым крепятся подвижные блоки полиспастов.

Мачты трубчатой конструкции состоят из верхней, нижней и нескольких средних секций. Соединение секций мачт осуществляется с помощью фланцев. Это позволяет изменять высоту мачт. Нижняя секция мачты с помощью цилиндрического шарнира соединяется с опорой, которая неподвижно закреплена на монтажном столе. Верх мачты (оголовок) выполнен вращающимся. К нему крепятся неподвижный блок полиспаста, сбегающая ветвь которого через отводной ролик (на опоре мачты) направляется к барабану лебедки. Мачты удерживаются в вертикальном положении тремя вантами (тросами диаметром 0,8 мм), один конец которых закреплен на оголовке мачты, а другой — на монтажном столе. Для уменьшения подвижности мачт вантам с помощью винтовых стяжек придается предварительное усилие натяжения.

Электролебедки состоят из барабана и электродвигателя с редуктором с числом оборотов 4,4 об/мин, установленных на металлической раме. Лебедки крепятся к монтажному столу четырьмя шпильками.

#### Исходные данные к расчету:

$P=117$  Н;  $\ell=0,54$  м;  $a=0,54$  м;  $c=0,76$  м;  $c_3=0,76$  м;  $b=0,24$  м;  $g=0,54$  м. Остальные величины ( $d, f, h, P_{zn}$ ) задаются преподавателем.

#### Отчет должен содержать:

1) номер и наименование работы; 2) цель работы; 3) расчетную схему и исходные данные к расчету; 4) расчеты усилий в такелажной оснастке (результаты расчетов свести в таблицу); 5) схему подъема аппарата (в масштабе 1:10) для самого напряженного положения, которое соответствует моменту отрыва аппарата от земли. В выбранном масштабе сил изобразить на этой схеме в виде векторов основные усилия в такелажной оснастке ( $Q_1, Q_2, T$  и  $T_1, Q_5$  и  $Q_6, Q_{10}$ ); 6) результаты эксперимента и сравнение с расчетными данными; 7) выводы по работе.