

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

В.Г. Коротков, Е.В. Ганин, А.В. Колотвин

# МОНТАЖ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Оренбург  
2019

УДК 66.02:664:665(075.8)  
ББК 35.11-5я73+35.51-5я73+36.81я73  
К68

Рецензент - кандидат технических наук, доцент Н.П. Владимиров

**Коротков В.Г.**

К68 Монтаж колонных аппаратов: методические указания / В.Г. Коротков, Е.В. Ганин, А.В. Колотвин; Оренбургский гос. ун-т.– Оренбург: ОГУ, 2019. – 73 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторно-практических работ по дисциплине «Ремонт и монтаж химического и нефтехимического оборудования» по направлениям подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии и 15.03.02 Технологические машины и оборудование очной и заочной форм обучения. Методические указания могут использоваться также для самостоятельной работы студента.

УДК 66.02:664:665(075.8)  
ББК 35.11-5я73+35.51-5я73+36.81я73

© Коротков В.Г.,  
Ганин Е.В.,  
Колотвин Е.В., 2019  
© ОГУ, 2019

## Содержание

Введение .....	4
1 Лабораторная работа № 1. Монтаж колонного аппарата монтажными мачтами.....	7
1.1 Теоретические положения .....	7
1.2 Описание установки.....	15
1.3 Исходные данные к расчету .....	16
1.4 Содержание отчета .....	16
2 Лабораторная работа № 2. Монтаж вертикальных аппаратов безъякорным методом.....	17
2.1 Теоретические положения .....	17
2.2 Описание установки.....	26
2.3 Исходные данные к расчету .....	33
2.4 Содержание отчета .....	33
3 Лабораторная работа № 3. Монтаж колонного аппарата методом выжимания .....	34
3.1 Теоретические положения .....	34
3.2 Описание установки.....	41
3.3 Исходные данные к расчету .....	47
3.4 Содержание отчета .....	47
4 Лабораторная работа № 4. Монтаж колонного аппарата методом поворота вокруг шарнира монтажными мачтами .....	48
4.1 Теоретические положения .....	48
4.2 Описание установки.....	55
4.3 Исходные данные к расчету .....	62
4.4 Содержание отчета .....	62
Список использованных источников .....	63
Приложение А Варианты заданий к лабораторным работам .....	64

## Введение

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

*Монтажные работы* являются одним из трех видов строительного-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, электро-технического 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, опробыванию 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.

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.

# **1 Лабораторная работа № 1. Монтаж колонного аппарата монтажными мачтами**

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

## **1.1 Теоретические положения**

**Монтажная мачта** (рисунок 1.1) представляет собой металлическую конструкцию 1 (трубчатую или решетчатую), оголовок 3 которой для удержания мачты в рабочем положении и изменения угла ее наклона укреплен тремя или четырьмя гибкими вантами 2.

Ванты одним концом крепят за проушины оголовка мачты, а другим – к неподвижным якорем. Угол наклона вант к горизонту составляет от 45 до 60 градусов. Для уменьшения подвижности мачты после ее установки в проектное положение вантам с помощью винтовых стяжек (на рисунке 1.3 не показаны) или полиспастов и лебедок придается предварительное усилие натяжения от 10 до 30 кН.

К оголовку 3 мачты (может быть вращающимся или неподвижным) крепятся один или два грузовых полиспаста 4, сбегающие к ветви 5 которых через отводной блок 6 (или ролик) направляются к барабану лебедки. Мачта передает вертикальное усилие на грунт через опорный башмак 7, который устанавливают на шпалы или на специальный фундамент и закрепляют специальными растяжками 8 и якорем 9. Соединение мачты с опорой бывает жестким (мачта работает в строго вертикальном положении), через цилиндрический или сферический шарнир 10 (мачта может изменять угол наклона в плоскости подъема груза). Наибольшее распространение получило соединение мачты с опорой через сферический шарнир, который позволяет

поворачивать мачту без перестановки вант и наклонять ее на угол до  $12^\circ$  с вертикалью.

В тех случаях, когда условия монтажной площадки не позволяют разместить боковые ванты, и в некоторых других случаях, обусловленных методами производства работ, применяют шевры.

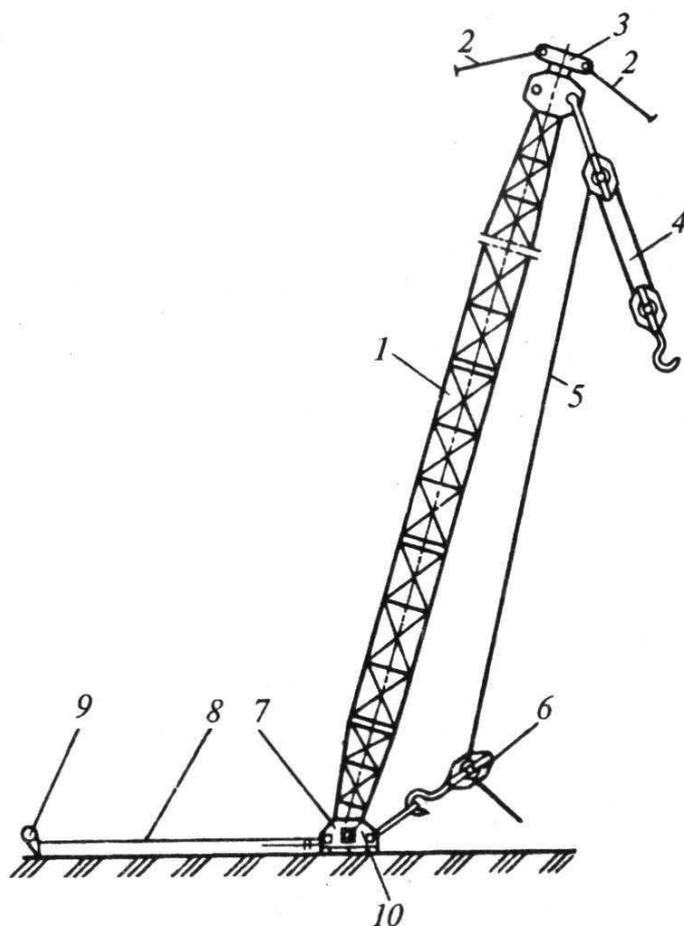


Рисунок 1.1 - Монтажная мачта

**Монтаж вертикального колонного аппарата монтажными мачтами (метод скольжения с отрывом от земли)** проводится двумя неподвижными вертикальными мачтами способом скольжения аппарата, подъёмом и оттяжкой его низа перед установкой на высокий фундамент (рисунок 1.2). 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  $30\div 45$  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  $10\div 15$  градусов. Сбегающие ветви грузовых полиспастов через отводные ролики направляют к барабанам лебедок.

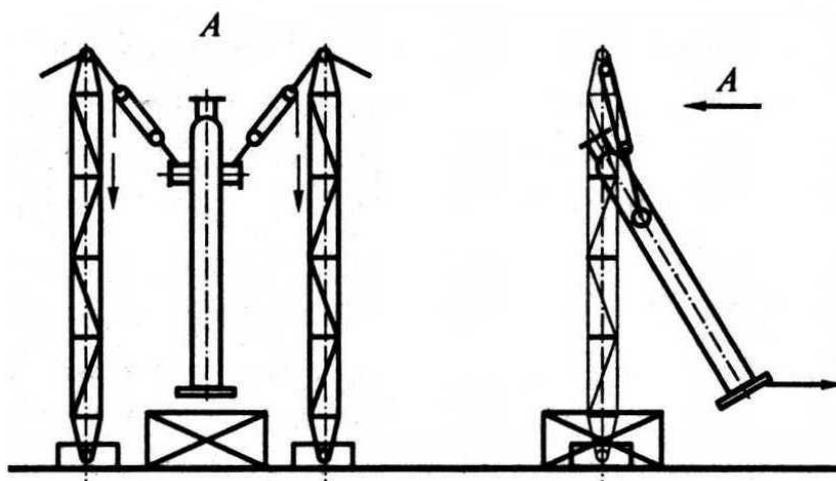


Рисунок 1.2 - Схема подъема аппаратов методом скольжения двумя вертикальными мачтами

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.

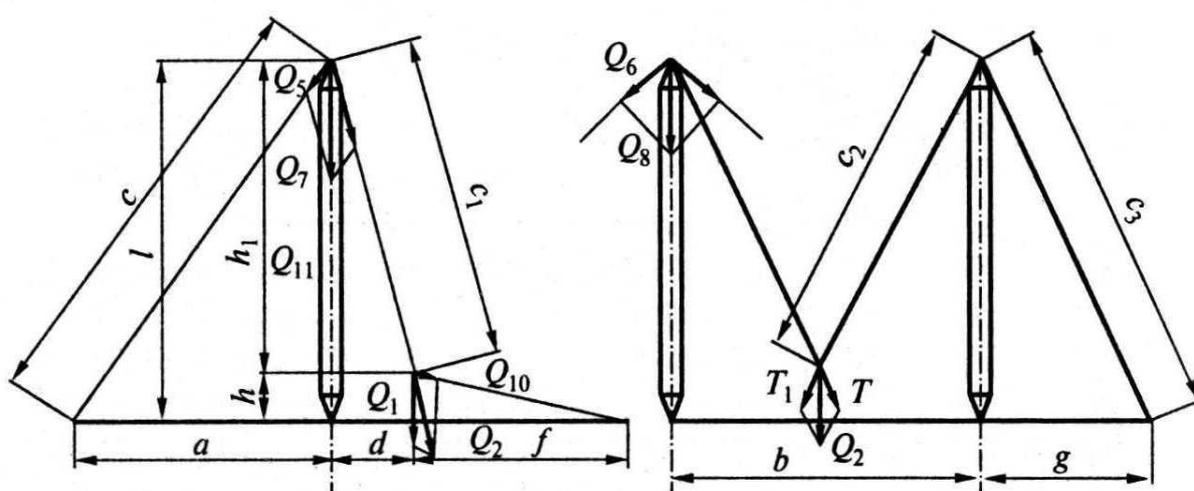


Рисунок 1.3 – Схема подъема аппаратов методом скольжения двумя вертикальными мачтами

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 (рисунок 1.3) замеряют (контролируют) усилия в грузовых полиспадах ( $T$  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:

- соответствующие конструкции мачт, тип размеров такелажной оснастки расчетным нагрузкам;

- необходимые зазоры между поднимаемым оборудованием и конструкцией мачты (не менее 500 мм), между сбегаящей 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 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 (см. рисунок 1.3)

**Обозначения:**

$P, P_m, P_{z.l.}$  – вес соответственно поднимаемого груза (колонны), мачты, грузовых полиспастов, МН (кгс);

$S$  – усилие в сбегающей нитке грузового полиспаста, идущей на лебедку, Н (на рисунке 1.3 не показано);

$S_I$  – усилие предварительного натяжения одной ванты, Н (на рисунке 1.3 не показано);

$n$  – число вант на одной мачте;

$k_D = 1,1$  – коэффициент динамичности;

$l$  – длина мачты;

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

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

$b$  – расстояние между осями мачт, м;

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

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

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

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

$h$  – расстояние по вертикали от земли до точки пересечения осей грузовых полиспастов, оттяжки и центра массы груза, м;  $h = l - h_1$  ;

$c_1$  – расстояние от оголовка мачты до точки пересечения осей полиспастов, оттяжки и веса груза (вид сбоку), м;  $c_1 = \sqrt{d^2 + h_1^2}$  ;

$c_2$  – расстояние от оголовка мачты до точки пересечения осей полиспастов, оттяжки и веса груза (вид спереди), м;  $c_2 = \sqrt{c^2 + (b/2)^2}$  ;

$c_3$  – длина боковой ванты, м;  $c_3 = \sqrt{l^2 + g^2}$

## Основные расчетные усилия и параметры

1. Расчетное усилие для полиспастов и вант:

$$Q_1 = \left( P + \frac{P_{\text{III}}}{2} \right) \cdot k_{\text{д}} \quad (1.1)$$

2. Вертикальная составляющая от усилия предварительного натяжения:

$$P_0 = S_1 \cdot \frac{l}{c} \cdot n \quad (1.2)$$

3. Суммарная составляющая усилий предварительного натяжения:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{f \cdot c_1}{f \cdot h_1 - d \cdot h} \quad (1.3)$$

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

$$T = T_1 = Q_2 \cdot \frac{c_2}{2 \cdot c_1} \quad \text{или} \quad T = T_1 = Q_2 \cdot \frac{f \cdot c_2}{2 \cdot f \cdot h_1 - d \cdot h} \quad (1.4)$$

5. Горизонтальная  $Q_3$  и вертикальная  $Q_4$  составляющие от усилий в полиспасте  $T$  и  $T_1$  действующих в плоскости полиспаста (на рисунке 1.3 показаны):

$$Q_3 = T \cdot \frac{\sqrt{d^2 + (b/2)^2}}{c_2} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot \sqrt{d^2 + (b/2)^2}}{2 \cdot f \cdot h_1 - d \cdot h} \quad (1.5)$$

$$Q_4 = T_1 \cdot \frac{h_1}{c_2} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot h_1}{2 \cdot f \cdot h_1 - d \cdot h} \quad (1.6)$$

6. Усилие в задней ванте:

$$Q_5 = Q_3 \frac{d \cdot c}{a \cdot \sqrt{d^2 + (b/2)^2}} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot d \cdot c}{2 \cdot a \cdot f \cdot h_1 - d \cdot h} \quad (1.7)$$

7. Усилие в боковой ванте:

$$Q_6 = Q_3 \frac{b \cdot c_3}{g \cdot \sqrt{d^2 + (b/2)^2}} = Q_1 \cdot \frac{f \cdot d \cdot c_3}{4 \cdot g \cdot f \cdot h_1 - d \cdot h} \quad (1.8)$$

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

$$Q_7 = Q_5 \cdot \frac{l}{c}; \quad Q_8 = Q_6 \cdot \frac{l}{c_3}; \quad (1.9)$$

9. Суммарное усилие от веса груза, действующее на оголовок мачты (на рисунке 1.3 не показано):

$$Q_9 = Q_4 + Q_7 + Q_8 \quad (1.10)$$

10. Усилие в тормозной оттяжке:

$$Q_{10} = Q_1 \cdot \frac{d \cdot \sqrt{h^2 + f^2}}{f \cdot h_1 - d \cdot h} \quad (1.11)$$

11. Суммарное усилие в середине мачты:

$$Q_{11} = Q_9 + P_M / 2 + P_0 \quad (1.12)$$

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

$$S = T \frac{1 - \eta}{1 - \eta^m}, \quad (1.13)$$

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 (в данной работе  $m=6$ ).

13. Суммарное усилие на основание мачты:

$$Q_{12} = Q_9 + P_0 + P_M \quad (1.14)$$

## 1.2 Описание установки

Колонна диаметром 80 мм выполнена из царг, что позволяет изменять ее высоту. На корпусе колонны имеется 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 неподвижна 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 барабану лебедки. Мачты удерживаются в вертикальном положении тремя винтами (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 об/мин, установленных на металлической раме. Лебедки крепятся к монтажному столу четырьмя шпильками.

### **1.3 Исходные данные к расчету**

Исходные данные к работе приведены в таблице А.1 Приложения А и задаются преподавателем.

### **1.4 Содержание отчета**

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) выводы по работе.

## **2 Лабораторная работа № 2. Монтаж вертикальных аппаратов безъякорным методом**

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

### **2.1 Теоретические положения**

**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.

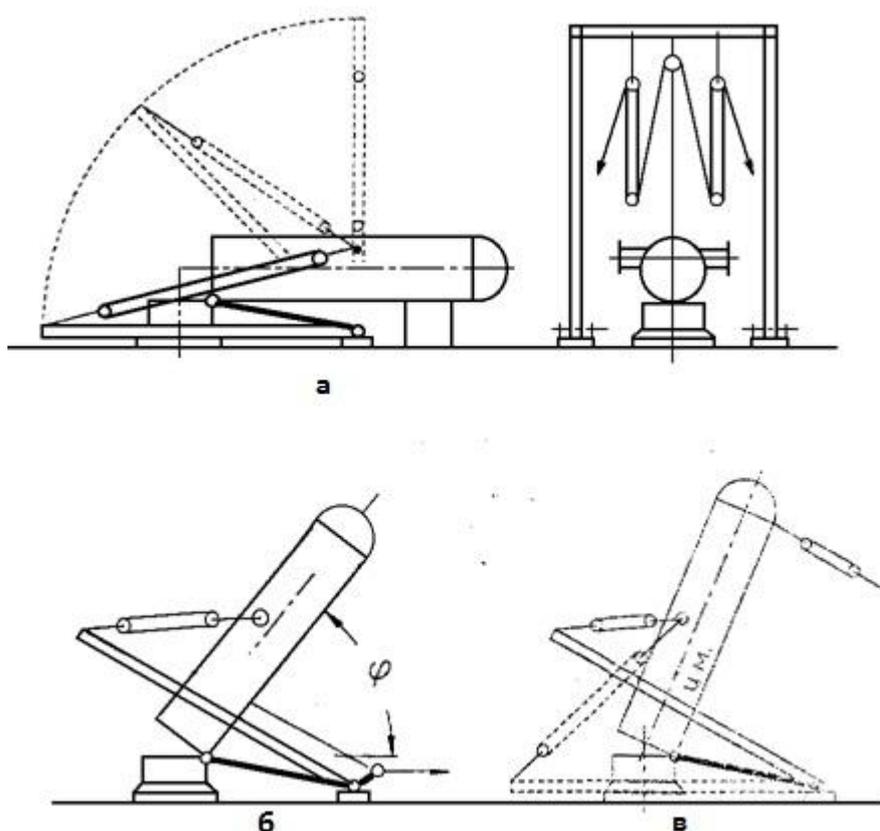
Процесс установки оборудования безъякорным способом состоит из трех этапов (рисунок 2.1):

- 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 стяжке близки по величине нагрузкам, 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 (угол  $\alpha$ , рисунок 2.1) начинается подъем аппарата. Затем аппарат постепенно поднимается, а портал совершает сложное движение.



Этапы а) первый; б) второй; в) третий

Рисунок – 2.1 Схема подъема аппарата безъякорным способом.

Сначала при малых углах подъема аппарата (до  $3+5^\circ$ ) угол наклона портала к горизонту увеличивается (до  $70+85^\circ$ ), 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 портал. 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 уравнивающейся сил исключает действие горизонтальных нагрузок на фундамент поднимаемого аппарата.

Преимущества безъякорного метода подъема:

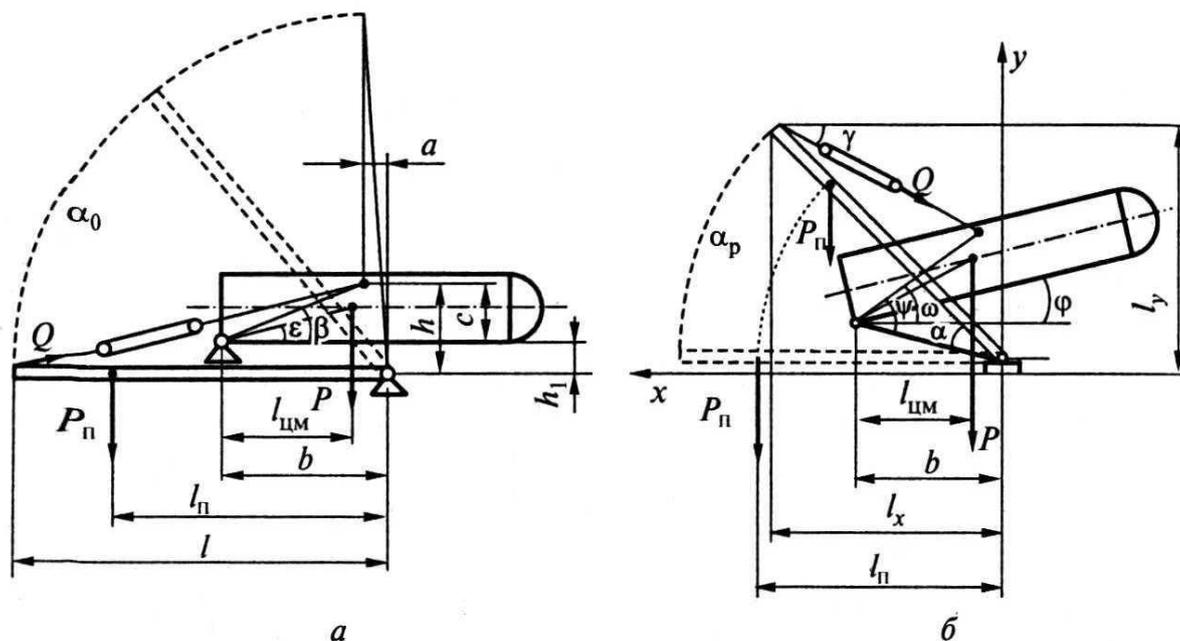
1. Отсутствие вант и якорей к ним. Малое количество лебедок.
2. Монтажная площадка незначительно превышает габариты поднимаемого аппарата, что весьма важно, когда монтаж ведется в стесненных условиях.
3. Отсутствие необходимости поднимать и устанавливать в рабочее положение, а по окончании монтажа демонтировать 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 (см. рисунок 2.2).



*a* – исходное положение и первый этап подъема; *б* – второй этап подъема;

Рисунок 2.2 – Расчетная схема определения усилий в элементах такелажной оснастки

**Обозначения:**

$P, P_n$  – вес поднимаемого аппарата и портала соответственно, МН (кгс);  
 $l_{ц.м.}$  – расстояние по оси аппарата от его опорного шарнира до центра массы, м;

$l_n$  – расстояние по оси портала от его башмака (шарнира) до центра массы портала, м;

$l$  – длина портала, м;

$l_{an}$  – длина аппарата, м;

$\Delta l$  – расстояние по оси аппарата между центром массы его и монтажными штуцерами, м;

$a$  – расстояние по горизонтали от оси шарнира порталам до точки строповки аппарата в его исходном положении перед подъемом, м;

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

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

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

$c$  – расстояние по вертикали от опорного шарнира аппарата до точки строповки аппарата в его исходном положении, м;

$l_{n.min.}$  – длина грузового полиспаста в стянутом состоянии, м;

$l_{n.max.}$  – длина грузового полиспаста, соответствующая началу подъема аппарата, м;

$l_x, l_y$  – проекции портала соответственно на горизонтальную и вертикальную плоскости при заданном угле подъема портала, м;

$\alpha$  – угол наклона портала к горизонту, град (рисунок 2.2,в);

$\beta$  – 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 (рисунок 2.2,б);

$\gamma$  – угол наклона полиспаста к горизонту, град (рисунок 2.2,в).

## Подбор оснастки

Расстояние  $b$  между шарнирами аппарата и портала выбирается равным или несколько большим, чем расстояние от основания аппарата до монтажных штуцеров, расположенных несколько дальше (выше) центра массы аппарата. Для предварительного выбора полиспаста по грузоподъемности предположим, что аппарат расположен горизонтально, а портал поднят в положение близкое к вертикальному так, что полиспаст расположился вертикально (рисунок 2.2, а).

Из условия равновесия сил, действующих на аппарат ( $\Sigma M_E = 0$ ), найдем:

$$Q_0 = \frac{P \cdot \ell_{ц.м.}}{b - a} \quad (2.1)$$

По усилию  $Q_0$  выбираем полиспаст (с некоторым запасом) и находим его длину в стянутом состоянии  $\ell_{n.min.}$ . Минимальная длина (высота) портала определится из положения, когда аппарат расположен вертикально, а стянутый полиспаст – горизонтально (рисунок 2.2, б):

$$\ell \geq \sqrt{(b + c + \ell_{n.min.})^2 + b - a + h_1^2} \quad (2.2)$$

где  $c$  выбирается конструктивно.

Основные расчетные усилия и параметры

1. Положение центра массы аппарата

$$\ell_{\text{ц.м.}} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i}, \quad (2.3)$$

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. Расстояние между опорными шарнирами аппарата и портала определяется конструктивно расположением монтажных штуцеров аппарата относительно центра массы его (см. рисунок 2.а):

$$b = \ell_{\text{ц.м.}} + \Delta \ell + a \quad (2.4)$$

3. Угол наклона портала к горизонту (см. рисунок 2в) в начальный момент подъема аппарата в случае  $a=0$  можно рассчитать по формуле:

$$\alpha_0 = \arcsin \left[ \left( \frac{P \cdot \ell_{\text{ц.м.}} \cdot \ell}{P_n \cdot \ell_n \cdot b} + \ell \right) \cdot \frac{h \cdot b}{\ell \cdot \sqrt{c^2 + b^2}} \right] - \beta, \quad (2.5)$$

где  $\beta$  -  $\arctg(c/b)$ .

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

$$\sin \alpha_0 + \beta + \frac{A \cdot a}{\ell} \cdot \text{tg} \alpha_0 = \frac{a \cdot c}{I \cdot I_0} + \frac{b - a \cdot h}{I \cdot I_0} + \frac{A \cdot h}{I} \quad (2.6)$$

$$\text{где } A = \frac{P \cdot \ell_{\text{ц.м.}} \cdot \ell}{P_n \cdot \ell_n \cdot \ell_0};$$

$$\ell_0 = \sqrt{c^2 + b - a^2};$$

$$\beta = \arctg \left[ \frac{c}{b - c} \right].$$

Та же задача может быть решена по уравнению (2.7) (см. ниже, п.5), если положить в нем  $\varphi = 0$ .

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

$$\varphi_1 = \arcsin \left( \frac{b \cdot h_1}{\ell^2} \pm \sqrt{\frac{P_{\Pi}^2 \cdot \ell_{ц.м.}^2 - P_{\Pi}^2 \cdot \ell_n^2}{P^2 \cdot \ell_{ц.м.}^2 - P_n^2 \cdot \ell_n^2 \cdot b^2 / \ell^2}} \right) - \beta \quad (2.7)$$

5. 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  $\alpha$ ):

$$\begin{aligned} \sin \omega + \alpha_p - A \cdot \cos \psi \cdot \left( \frac{\ell_o}{\ell} \cdot \cos \omega - \frac{b}{\ell} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha_p = \\ = A \cdot \cos \psi \cdot \left( \frac{\ell_o}{\ell} \cdot \sin \omega + \frac{h_1}{\ell} \right) + \frac{b}{\ell} \cdot \sin \omega + \frac{h_1}{\ell} \cdot \cos \omega, \end{aligned} \quad (2.8)$$

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;

$\varepsilon = \operatorname{arctg}(r/\ell_{ц.м.})$  – 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.

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

$$Q_0 = \frac{P_n \cdot \ell_n \cdot \sqrt{\ell^2 + h^2}}{\ell \cdot h} \quad (2.9)$$

7. Усилие в грузовых полиспастах (см. рисунок 2.2,в) для любого положения поднимаемого портала (аппарат находится в горизонтальном положении,  $\varphi = 0$ )

$$Q = P_n \cdot \frac{\ell_n}{\ell} \cdot \frac{\sqrt{\left(\ell_x/h - a/h\right)^2 + \left(\ell_y/h - \ell\right)^2}}{\ell - a \cdot \ell_y / h \cdot \ell_x}; \quad (2.10)$$

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

$$Q = P_n \cdot \frac{\ell_n}{\ell} \cdot \sqrt{\left(\frac{\ell_x}{h}\right)^2 + \left(\frac{\ell_y}{h} - \ell\right)^2}, \quad (2.11)$$

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

8. Усилие в полиспастах в начальный момент подъема аппарата

$$Q_1 = \frac{P \cdot \ell_{у.м.} \cdot \sqrt{\ell^2 + h^2 - 2 \cdot \ell_y \cdot h}}{c \cdot \ell_x + b \cdot (\ell_y - h)} \quad (2.12)$$

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

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

$$Q_1 = \frac{P_n \cdot \ell_n \cdot \cos \alpha_p}{\ell \cdot \sin (\varphi_p - \gamma_1)} \quad \text{или} \quad Q_{II} = \frac{P \cdot R \cdot \cos \psi}{\ell_0 \cdot \sin (\varphi + \gamma_1)} \quad (2.13)$$

где  $R = \sqrt{r^2 + \ell_{у.м.}^2}$ .

Угол наклона грузового полиспаста к горизонту при подъеме аппарата  $\gamma_1$  определяется по формуле

$$\gamma_1 = \arctg \left[ \frac{\ell \cdot \sin \alpha_p - \ell_0 \cdot \sin \omega - h_1}{\ell \cdot \cos \alpha_p + \ell_0 \cdot \cos \omega - b} \right] \quad (2.14)$$

Выражение для  $Q_I$  получается из условия равновесия портала, а для  $Q_{II}$  – из условия равновесия аппарата. Сходимость величин  $Q_I$  и  $Q_{II}$  является показателем правильности расчетов углов  $\alpha_p = 0$  при заданных  $\varphi$ .

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

$$L_n = \sqrt{\ell \cdot \sin \alpha - h_1^2 + \ell \cdot \cos \alpha - a^2}; \quad (2.15)$$

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

$$L_{n1} = \sqrt{\ell \cdot \sin \alpha_p - \ell_g \cdot \sin \omega - h_1^2 + \ell \cdot \cos \alpha_p + \ell_0 \cdot \cos \omega - b^2} \quad (2.16)$$

## 2.2 Описание установки

Для запуска виртуальной работы необходимо открыть файл **RMLabas.exe**, выбрать окошко показанное стрелкой 1 (рисунок 2.3) и щелкнуть по нему правой кнопкой мышки или открыть файл **Laba2.exe** находящийся в папке **LABs**. После указанных действий откроются две панели: управляющая и панель исходных данных (рисунок 2.4).

На рисунках 2.3 – 2.10 показано описание работы программы монтажа безъякорным методом.



Рисунок 2.3 – Окно запуска программы виртуальной лаборатории с выбором монтажа колонного аппарата безъякорным методом

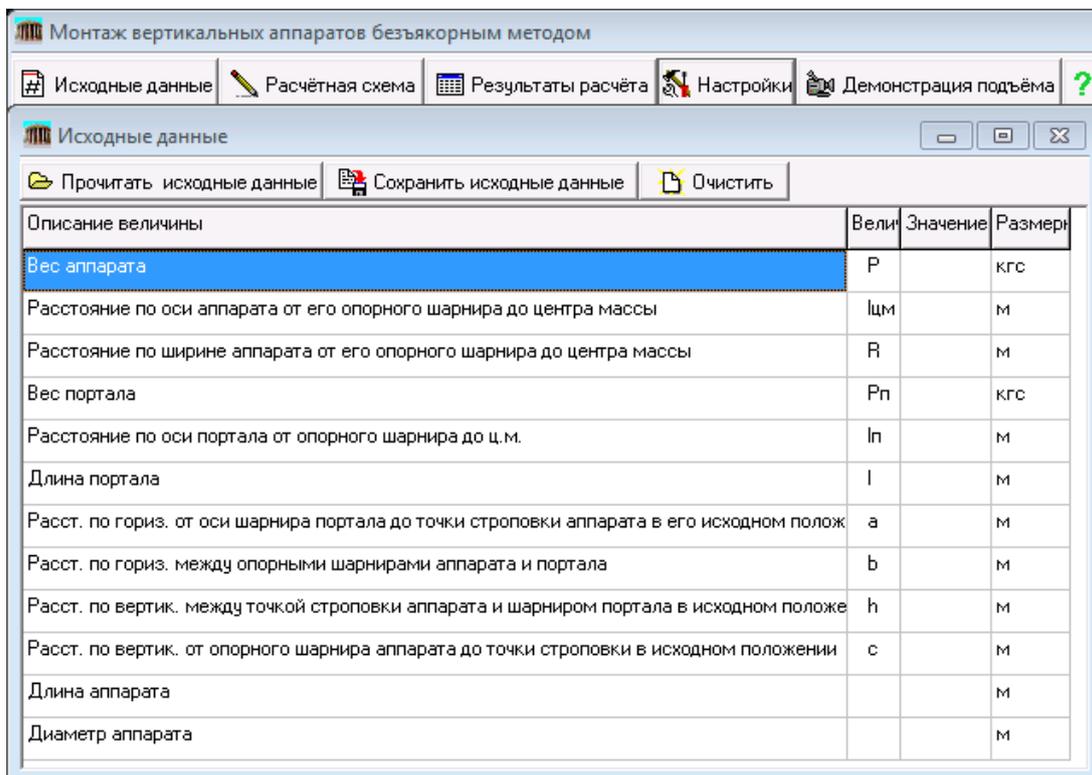


Рисунок 2.4 – Управляющая панель и панель исходных данных

Управляющая панель (рисунок 2.5) содержит пять кнопок: [Исходные данные]; [Расчетная схема]; [Результаты расчета]; [Настройки]; Демонстрация подъема].

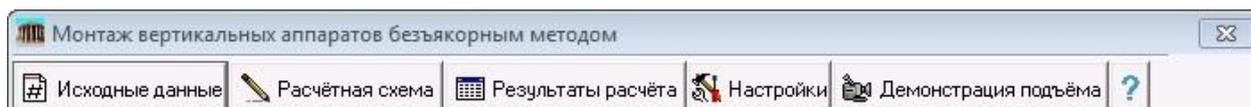


Рисунок 2.5 – Управляющая панель

Кнопка [Исходные данные] включает форму содержащую таблицу, в которой осуществляется ввод исходных данных (рисунок 2.6).

Описание величины	Велич.	Значение	Размерн.
Вес аппарата	P	102000	кгс
Расстояние по оси аппарата от его опорного шарнира до центра массы	l <sub>цм</sub>	9	м
Расстояние по ширине аппарата от его опорного шарнира до центра массы	R	1.3	м
Вес портала	P <sub>п</sub>	6120	кгс
Расстояние по оси портала от опорного шарнира до ц.м.	l <sub>п</sub>	30	м
Длина портала	l	35	м
Расст. по гориз. от оси шарнира портала до точки строповки аппарата в его исходном полож	a	2	м
Расст. по гориз. между опорными шарнирами аппарата и портала	b	18	м
Расст. по вертикал. между точкой строповки аппарата и шарниром портала в исходном положе	h	2.5	м
Расст. по вертикал. от опорного шарнира аппарата до точки строповки в исходном положении	c	1.5	м
Длина аппарата		25	м
Диаметр аппарата		2.6	м

Рисунок 2.6 – Таблица ввода исходных данных

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**] или очистить их – кнопка [**Очистить**]).

Кнопка [**Расчетная схема**] вызывает форму, отображающую расчетную схему подъема аппарата (рисунок 2.7).

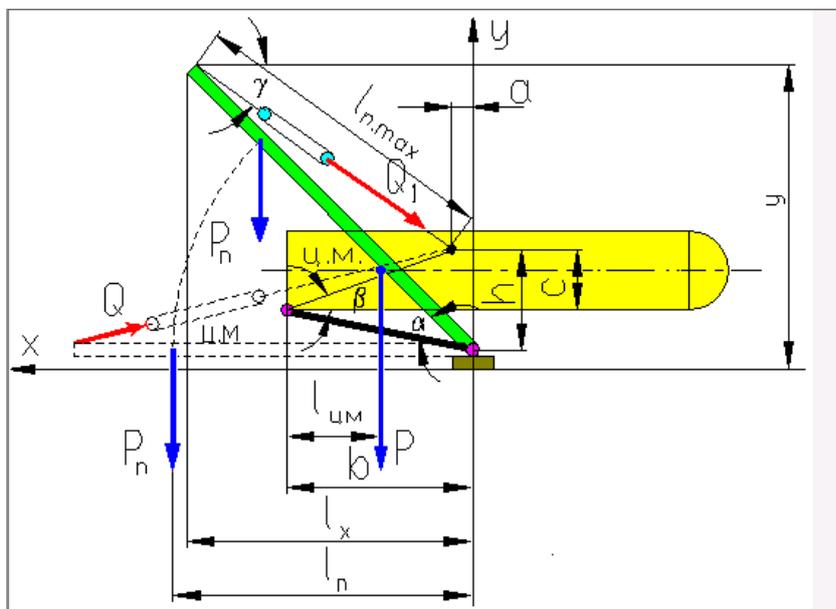


Рисунок 2.7 – Окно расчетной схемы подъема аппарата безъякорным методом

Кнопка [**Результаты расчета**] вызывает форму, которая содержит три таблицы расчетных данных (рисунки 2.8 –2.10).

Первая таблица – [**Расчетные параметры**]. Содержит общую информацию о подъеме аппарата и портала (рисунок 2.8).

Описание величины	Значени	Размерность
Угол подъема портала в начальный момент подъема аппарата	27 : 4	град : мин
Максимальный угол подъема портала	57 : 13	град : мин
Угол подъема аппарата при этом	26 : 47	град : мин
Угол неустойчивого равновесия аппарата	68 : 16	град : мин
Угол подъема портала при этом	38 : 13	град : мин
Максимальное усилие в полиспасте при подъеме портала	6,944E4	кгс
Максимальное усилие в полиспасте при подъеме аппарата	1,14E5	кгс

Рисунок 2.8 – Таблица расчетные параметры окна результаты расчета

Вторая таблица – **Подъем портала**. Содержит расчетные данные о подъеме портала (рисунок 2.9).

Угол подъёма портала (град : мин)	Усилие в полиспастах ( кгс )	Длина полиспаста ( м )
0 : 0	6,944E4	33,090
5 : 0	7,416E4	32,870
10 : 0	7,98E4	32,660
15 : 0	8,674E4	32,480
20 : 0	9,564E4	32,310
25 : 0	1,076E5	32,160
Конечная точка подъема портала		
27 : 4	1,14E5	32,110

Рисунок 2.9 – Таблица подъем портала окна результаты расчета

Третья таблица – **Подъем аппарата**. Содержит расчетные данные о подъеме аппарата (рисунок 2.10).

Результаты расчёта			
Сохранить отчёт			
Расчетные параметры		Подъем портала	Подъем аппарата
Угол подъема аппарата (град : мин)	Угол подъема портала (град : мин)	Усилие в полиспадах ( кгс )	Длина полиспаста ( м )
0 : 0	27 : 4	1,14E5	32,110
5 : 0	39 : 17	7,73E4	30,880
10 : 0	48 : 14	6,304E4	29,460
15 : 0	53 : 34	5,618E4	28,000
20 : 0	56 : 13	5,193E4	26,560
25 : 0	57 : 9	4,854E4	25,140
30 : 0	57 : 3	4,536E4	23,740
35 : 0	56 : 16	4,211E4	22,370
40 : 0	55 : 0	3,866E4	21,030
45 : 0	53 : 21	3,495E4	19,720
50 : 0	51 : 21	3,093E4	18,460
55 : 0	48 : 59	2,658E4	17,260
60 : 0	46 : 5	2,188E4	16,150
65 : 0	42 : 8	1,688E4	15,240
Момент неустойчивого равновесия			
68 : 16	38 : 13	1,352E4	14,970

Рисунок 2.10 – Таблица подъем аппарата окна результаты расчета

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

Кнопка **[Настройки]** (см. рисунок 2.3) вызывает окно, позволяющее задать шаг при расчете и количество знаков после запятой при выводе расчетных данных на экран (рисунок 2.11).

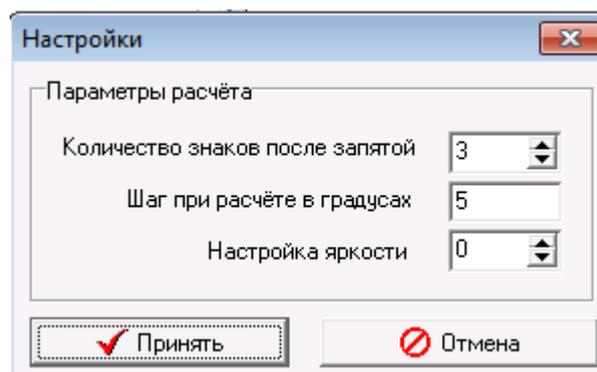


Рисунок 2.11 – Кнопка настройки управляющей панели

Кнопка [Демонстрация подъема] (см. рисунок 2.3) вызывает окно 3х мерного изображения поднимаемого объекта, которая позволяет наблюдать подъем аппарата под любым углом (рисунок 2.12).

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

Таким образом, работа позволяет:

- наглядно показать процессы, происходящие во время подъема колонного аппарата безъякорным методом;
- выполнить теоретические расчеты по заданным геометрическим параметрам и весу колонны;
- экспериментально определить усилия, возникающие в такелажной оснастке при любом угле наклона портала и колонны к горизонту и сравнить полученные результаты с теоретическими расчетами.

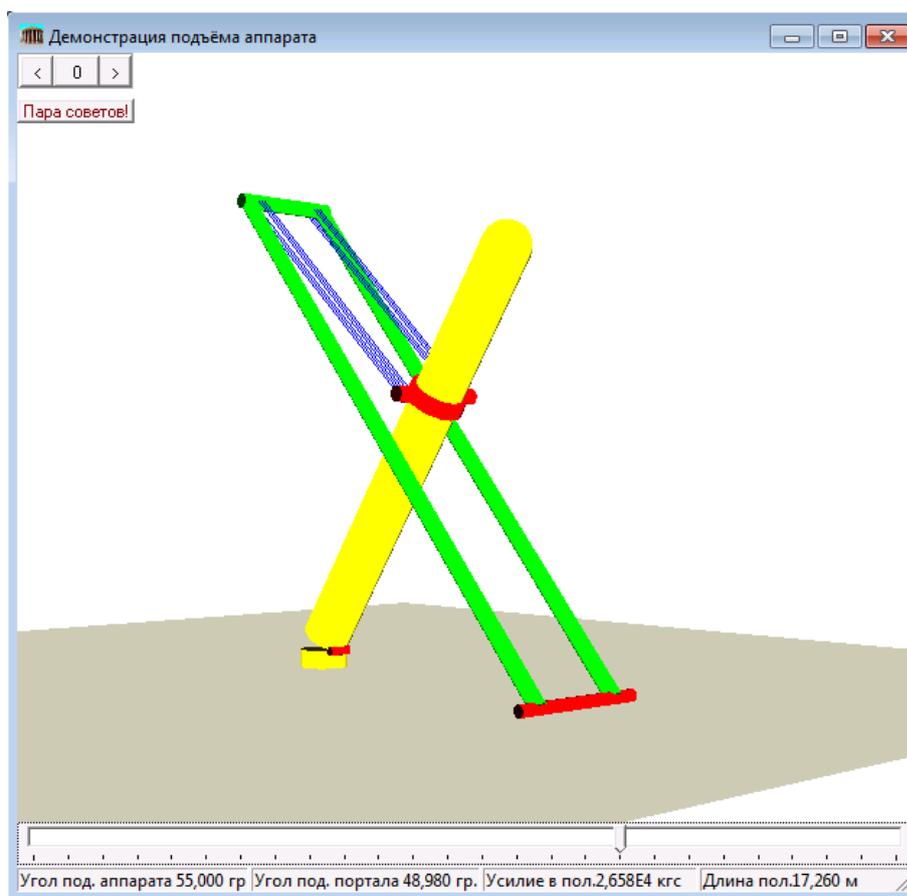


Рисунок 2.12 – Демонстрация подъема аппарата безъякорным методом

## **2.3 Исходные данные к расчету**

Исходные данные к работе приведены в таблице А.2 Приложения А и задаются преподавателем.

## **2.4 Содержание отчета**

- 1) номер и наименование работы;
- 2) цель работы;
- 3) расчетную схему и исходные данные к расчету;
- 4) расчеты усилий в грузовых полиспастах и характерных углов портала и аппарата для разных углов наклона портала ( $\alpha$ ) и аппарата ( $\varphi$ ) к горизонту, шаг изменяющихся углов принять равным  $5^\circ$ - $10^\circ$  (результаты расчетов свести в таблицу);
- 5) сравнение результатов теоретических расчетов по подъему колонного аппарата безъякорным методом с результатами полученных моделированием.
- 6) выводы по работе.

### **3 Лабораторная работа № 3. Монтаж колонного аппарата методом выжимания**

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

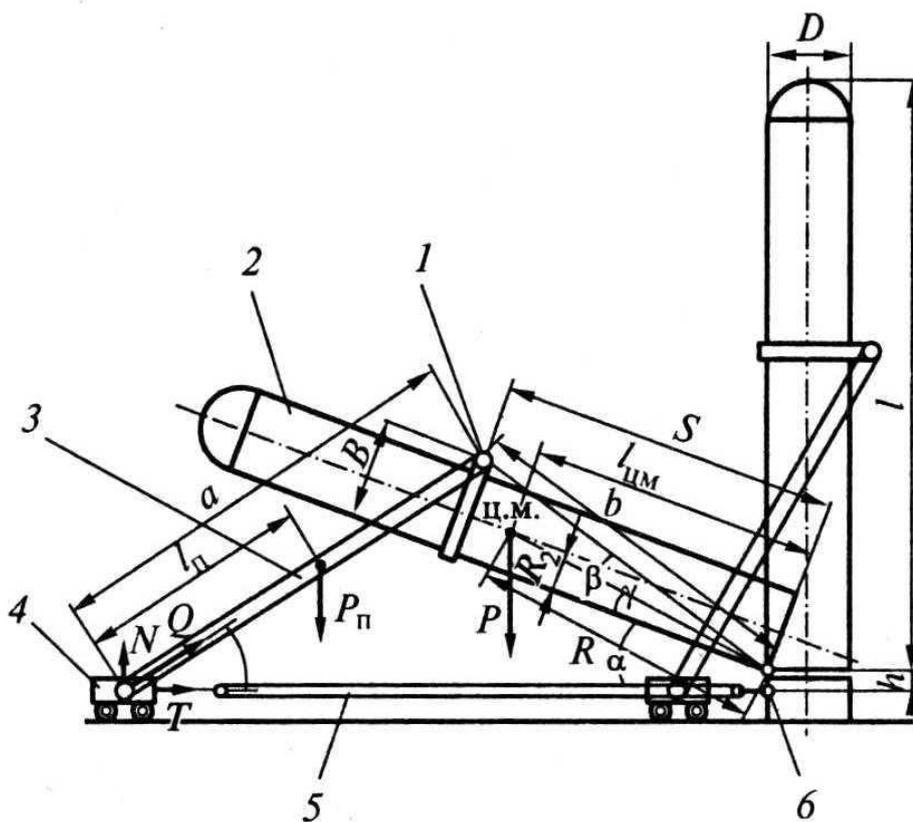
#### **3.1 Теоретические положения**

**Метод выжимания** является разновидностью безъякорного метода подъема аппарата колонного типа путем поворота вокруг шарнира. Опора аппарата разрешается 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), рисунок 3.1–3.2. 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 ее 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

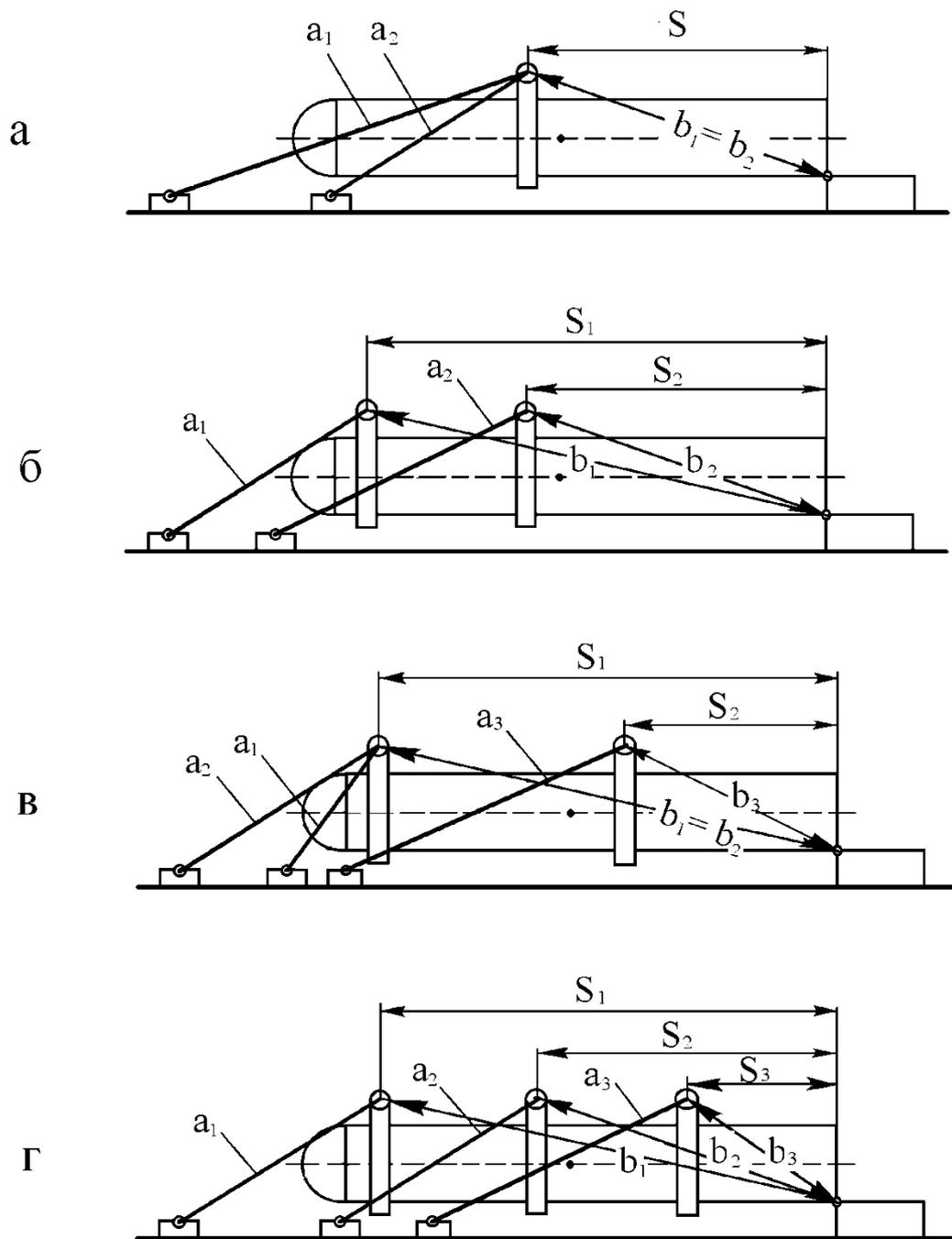
путем удлинения подвески и тем самым уменьшить нагрузку на такелажную оснастку.

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



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

Рисунок 3.1 – Расчетная схема для определения усилий при подъеме аппарата одной рамной опорой (промежуточное и конечное положение)



$a_1, a_2, a_3$  – длины рамных опор, м;

$S_1, S_2, S_3$  – расстояния по длине аппарата от оси его шарниров до оси поворотных цапф, м.

Рисунок 3.2 - Подъем аппарата двумя и тремя рамными опорами (исходное положение)

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 ветки этих полиспастов крепятся к барабанам лебедок.

При монтаже колонн 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 на 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 подъема.

В начальный момент подъема в такелажной оснастке возникают усилия, превышающие в 1.5 раза вес аппарата, поэтому в месте установки поворотных цапф иногда необходимо усилие его корпуса.

Простейшим вариантом является подъем с использованием одной достаточно длинной подпорки, позволяющей поднять аппарат из горизонтального или слегка наклонного положения в вертикальное (рисунок 3.1). 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 (рисунок 3.2 а);
- 2) Двумя рамными опорами, закрепленными в разных точках аппарата (рисунок 3.2 б);
- 3) Тремя разными опорами, две из которых закреплены в одной точке аппарата (рисунок 3.2 в);
- 4) Тремя разными опорами, закрепленными в трех точках аппарата (рисунок 3.2 г).

Рассмотрим вариант подъема аппарата одной рамной опорой.

**Обозначения:**

$P, P_n$  – вес поднимаемого аппарата и подпорки соответственно, МН (кгс);

$D$  – диаметр аппарата, м;

$\ell_n$  – расстояние от нижнего конца подпорки до её центра массы, м;

$a$  – длина подпорки (рамной опоры), м;

$S$  – расстояние по длине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы, м;

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

$h$  – высота фундамента над шарниром тележки, м;

$l_{ц.м.}$  – расстояние от шарнира до центра массы по длине аппарата, м;

$R_2$  – расстояние от шарнира до оси аппарата (проходящей через центр массы), м;

$\ell$  – высота аппарата, м;

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

### Основные расчетные усилия и параметры:

1. Угол неустойчивого равновесия аппарата:

$$\alpha_{нр} = 90^\circ - \arctg\left(\frac{R_2}{l_{ц.м.}}\right), \text{ }^\circ \quad (3.1)$$

где  $R_2$  – расстояние от шарнира до оси аппарата (проходящей через центр массы), м;

$l_{ц.м.}$  – расстояние от шарнира до центра массы по длине аппарата, м.

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

$$Q = \frac{P \cdot R \cdot \cos(\alpha + \nu)}{b \cdot \sin(\alpha + \beta + \varphi)} + \frac{P_n \cdot l_n \cdot \cos \varphi}{a \cdot \tg(\alpha + \beta + \varphi)}, \quad (3.2)$$

где  $P$  – вес аппарата, Н (кгс);

$R = \sqrt{l_{ц.м.}^2 + R_2^2}$  – кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до

его центра массы, м;

$b = \sqrt{S^2 + B^2}$  - кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до точки крепления подпорки (до оси поворотной цапфы), м;

$P_{\text{п}}$  - вес подпорки, Н (кгс);

$l_{\text{п}}$  - расстояние от нижнего конца подпорки до ее центра массы, м;

$a$  - длина подпорки, м;

$\beta = \text{arctg}\left(\frac{B}{S}\right)$  и  $\gamma = \text{arctg}\left(\frac{R_2}{l_{\text{им}}}\right)$  постоянны;

$\alpha$  - угол наклона аппарата к горизонту;

$\varphi$  - угол наклона подпорки к горизонту,

$$\varphi = \arcsin\left[\frac{b \sin(\alpha + \beta)}{a} + \frac{h}{a}\right];$$

$B$  - расстояние по ширине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы (т.е. до верхнего конца подпорки), м;

$S$  - расстояние по длине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы, м;

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

$$N = P_{\text{п}} + Q \cdot \sin \varphi - Q_1 \cdot \cos \varphi, \text{ Н} \quad (3.3)$$

где  $Q_1 = \frac{P_{\text{п}} \cdot l_{\text{п}} \cdot \cos \varphi}{a}$  - поперечная составляющая силы давления аппарата на подпорку, Н(кгс).

4. Усилие в полиспасте в процессе подъема аппарата:

без учета трения каретки о рельсы

$$T = Q \cdot \cos \varphi + Q_1 \cdot \sin \varphi, \text{ Н} \quad (3.4)$$

с учётом трения

$$T_1 = T + f \cdot N, \text{ Н} \quad (3.5)$$

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

### 3.2 Описание установки

Для запуска виртуальной работы необходимо открыть файл **RMLabas.exe**, выбрать окошко показанное стрелкой 2 (рисунок 3.3) и щелкнуть по нему правой кнопкой мышки или открыть файл **Laba3.exe** находящийся в папке **LABs**. После указанных действий откроются две панели: управляющая и панель исходных данных (рисунок 3.4).

На рисунках 3.3 – 3.10 показано описание работы программы монтажа безъякорным методом.

Кнопка **[Исходные данные]** вызывает окно, на котором осуществляется ввод исходных данных (рисунок 3.5).



Рисунок 3.3 – Окно запуска программы виртуальной лаборатории с выбором метода монтажа колонного аппарата методом выжимания

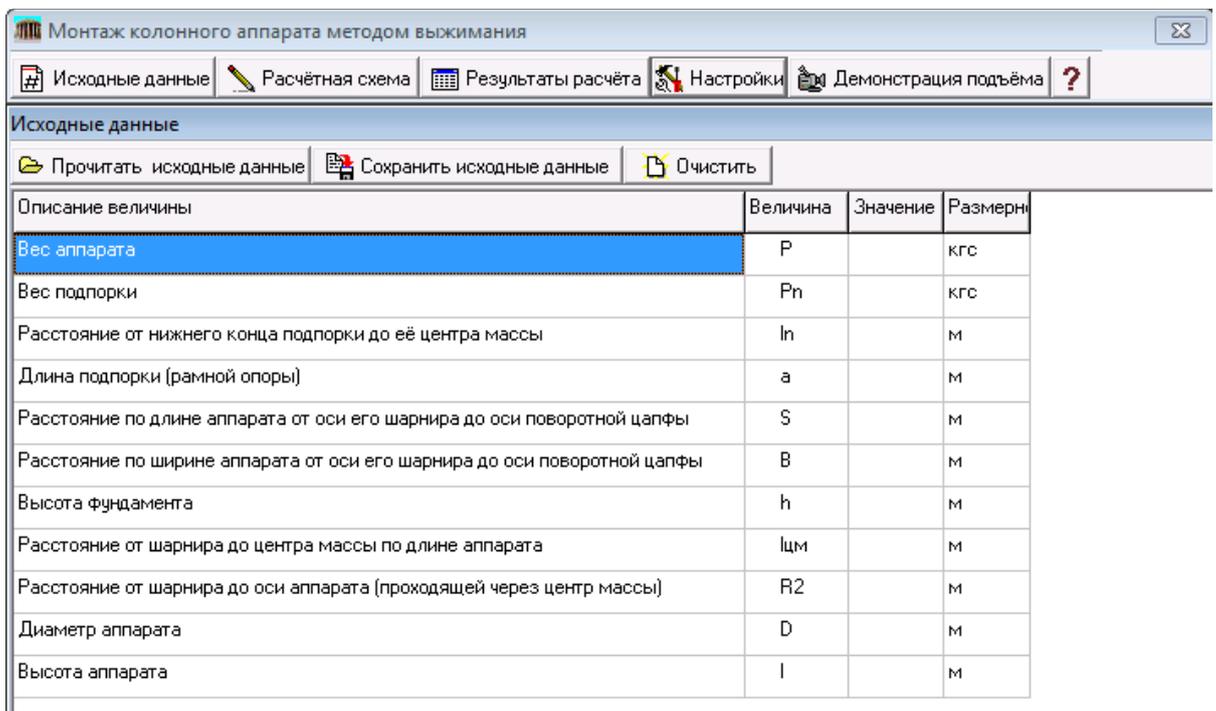


Рисунок 3.4 – Управляющая панель и панель исходных данных

Управляющая панель (рисунок 3.5) содержит пять кнопок: [Исходные данные]; [Расчетная схема]; [Результаты расчета]; [Настройки]; Демонстрация подъема].

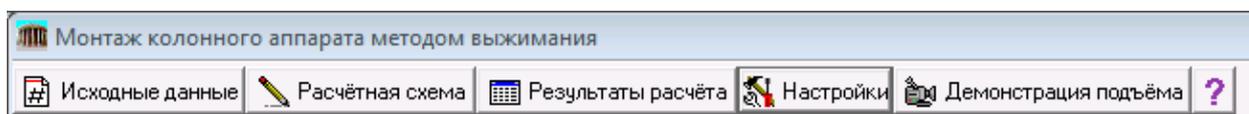


Рисунок 3.5 – Управляющая панель

Кнопка [Исходные данные] вызывает окно, в котором осуществляется ввод исходных данных (рисунок 3.6).

Описание величины	Величина	Значение	Размерности
Вес аппарата	P	10197	кгс
Вес подпорки	Pn	1020	кгс
Расстояние от нижнего конца подпорки до её центра массы	ln	6	м
Длина подпорки (рамной опоры)	a	9	м
Расстояние по длине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы	S	7	м
Расстояние по ширине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы	B	1,8	м
Высота фундамента	h	1	м
Расстояние от шарнира до центра массы по длине аппарата	l <sub>цм</sub>	5	м
Расстояние от шарнира до оси аппарата (проходящей через центр массы)	R2	1	м
Диаметр аппарата	D	2	м
Высота аппарата	l	14	м

Рисунок 3.6 – Таблица ввода исходных данных

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]** или очистить их – кнопка **[Очистить]**).

Кнопка **[Расчетная схема]** вызывает окно, отображающее расчетную схему подъема аппарата (рисунок 3.7).

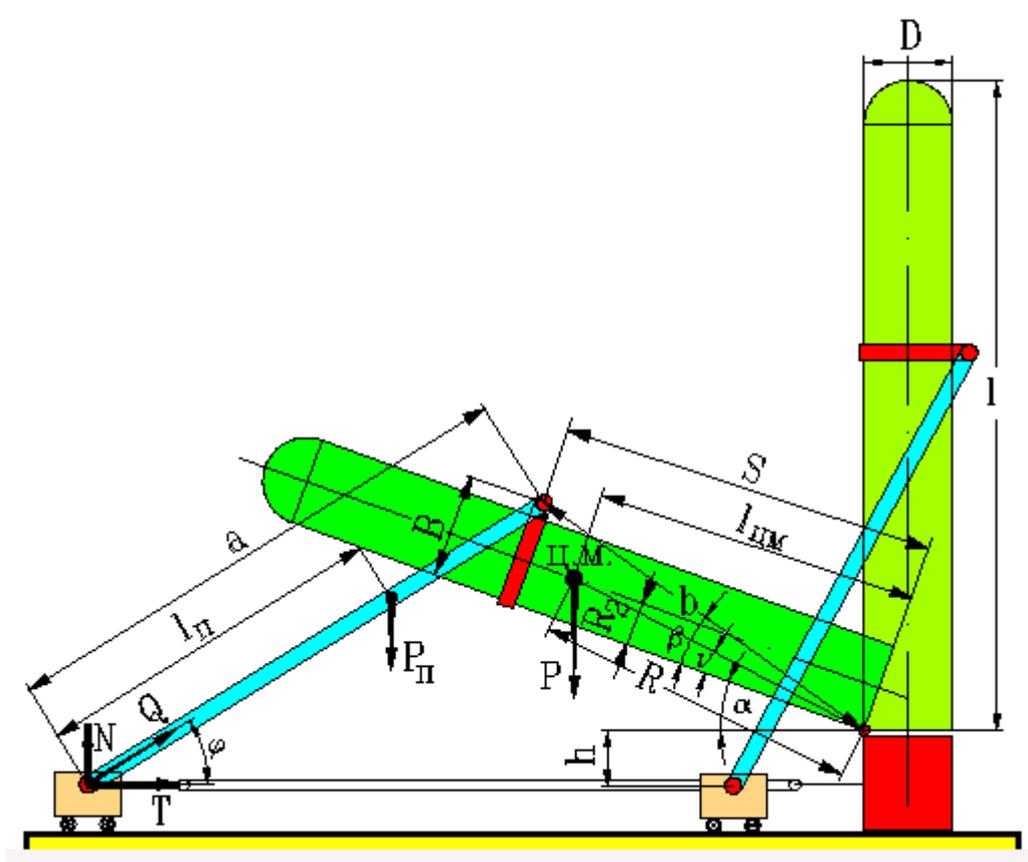


Рисунок 3.7 –Расчетная схема подъема аппарата методом выжимания

Кнопка **[Результаты расчета]** вызывает окно, которое содержит три таблицы расчетных данных (рисунки 3.8 –3.10).

Результаты расчёта				
Описание величины	Величина	Значение	Размерн	
Угол неустойчивого равновесия аппарата	α <sub>пр</sub>	78.690	град	
Кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до его центра массы	R	5.099	м	
Кратчайшее расстояние от оси шарнира аппарата до точки крепления подпорки (до оси поворотной)	b	7.071	м	
Угол beta	β	8.130	град	
Угол γ	γ	11.309	град	
Угол наклона аппарата	Угол наклона подпорки	Продольное усилие в подпорке	Сила прижатия каретки к рельсам	Усилие в полиспасте
α (град)	φ (град)	Q (кгс)	N (кгс)	T (кгс)
0.000	12.839	21877.682	5235.287	21477.987
15.000	24.818	9433.620	4419.470	8821.436
30.000	36.600	5874.493	4084.249	5041.634
45.000	47.701	4065.227	3718.864	3074.351
60.000	57.165	2625.983	3026.545	1733.639
75.000	63.017	389.580	1227.186	451.704
78.690	63.582	-532.620	408.395	33.978

Рисунок 3.8 – Таблица расчетные параметры окна результаты расчета

Имеется возможность сохранить расчетные данные кнопкой **[Сохранить отчет]**.

Кнопка **[Настройки]** управляющей панели (см. рисунок 3.5) вызывает окно, позволяющее учитывать трение каретки о рельсы, задать шаг при расчете и количество знаков после запятой при выводе расчетных данных на экран, а также качество отрисовки модели (рисунок 3.9).

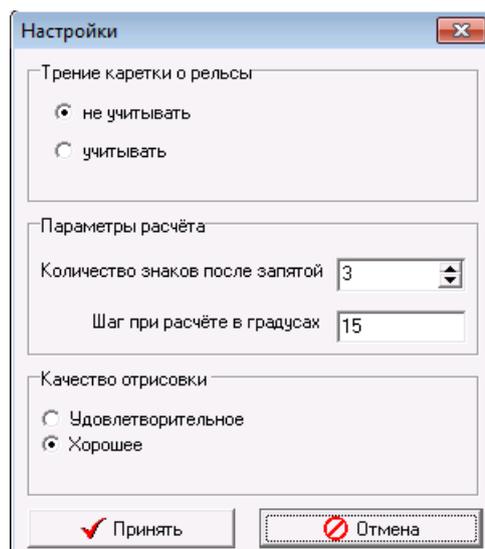


Рисунок 3.9 – Кнопка настройки управляющей панели

Кнопка [Демонстрация подъема] (см. рисунок 3.5) вызывает окно моделирования 3х мерного изображения поднимаемого объекта, которая позволяет наблюдать подъем аппарата под любым углом, установить точку наблюдения, включить круговой обзор и автоподъем (рисунок 3.10).

Таким образом, работа позволяет:

- наглядно показать процессы, происходящие во время подъема колонного аппарата методом выжимания;
- выполнить теоретические расчеты по заданным геометрическим параметрам и весу колонны;

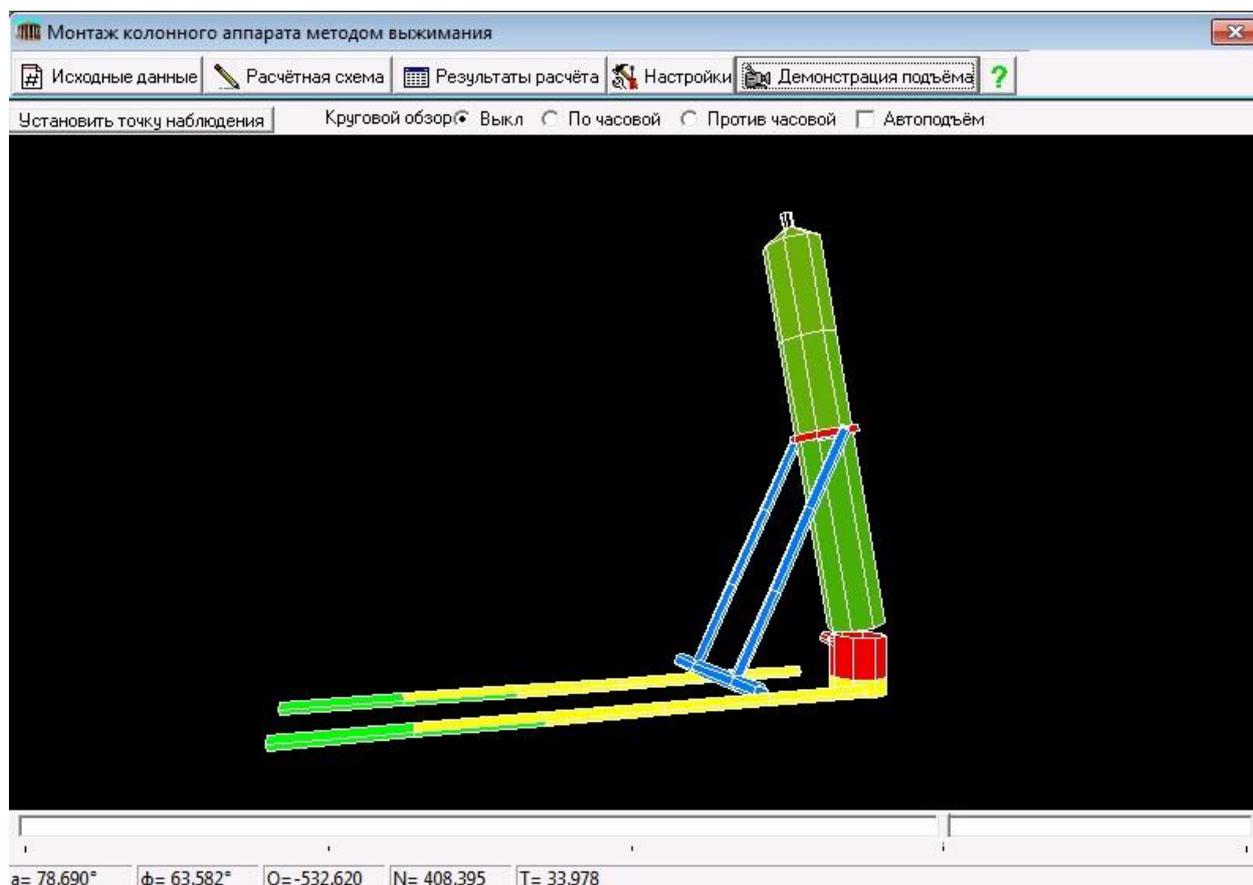


Рисунок 3.10 – Демонстрация подъёма аппарата методом выжимания

### 3.3 Исходные данные к расчету

Исходные данные к работе приведены в Таблице А.3 Приложения А и задаются преподавателем.

### 3.4 Содержание отчета

При выполнении работы произвести необходимые расчеты и представить в отчете:

- 1) номер и наименование работы;
- 2) цель работы;
- 3) расчетную схему и исходные данные к расчету;
- 4) рассчитать угол подъема, соответствующий положению неустойчивого равновесия аппарата.

5) для ряда положений аппарата (через 5 или 10 градусов) в пределах от  $\alpha=0$  до  $\alpha_{np}$  рассчитать усилия в рамных опорах ( $Q, Q_I$ ), в полиспасте ( $T, T_I$ ), давление кареток на рельсовый путь ( $N$ ) с учетом веса рамных опор.

Результаты расчетов представить в виде таблицы.

## 4 Лабораторная работа № 4. Монтаж колонного аппарата методом поворота вокруг шарнира монтажными мачтами

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

### 4.1 Теоретические положения

При монтаже колонных аппаратов **методом поворота вокруг шарнира** аппарат укладывают опорной частью к фундаменту и закрепляют в шарнире (рисунок 4.1).

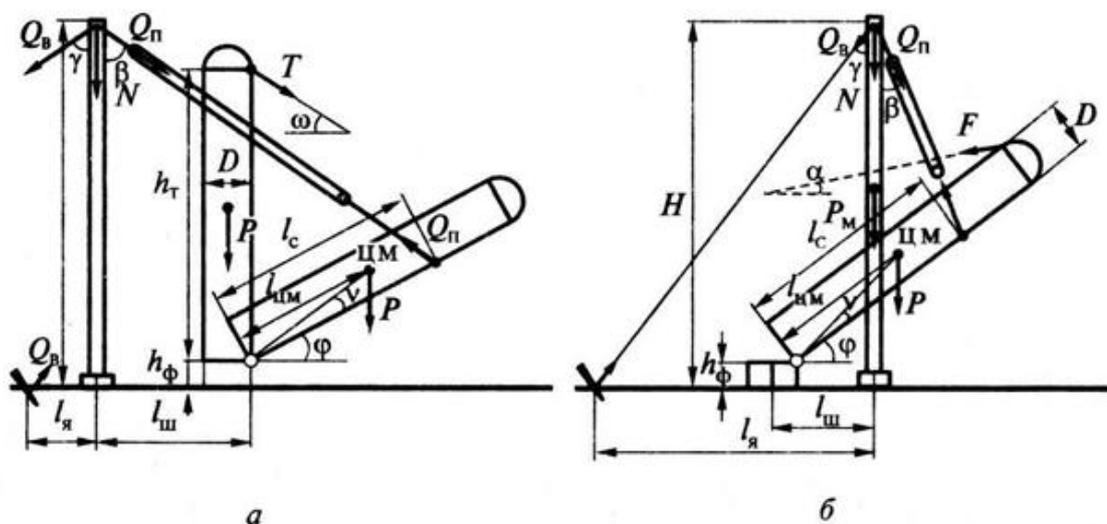


Рисунок 4.1 - Расчетная схема подъема аппарата методом поворота вокруг шарнира

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.

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 (рисунок 4.1 а, 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 строят 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.

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 (рисунок 4.1, а). 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 (рисунок 4.1, б). 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 балансирной траверсы, уравнивающей нагрузку на оба полиспаста.

#### **Обозначения:**

$P$  – вес поднимаемого аппарата, МН (кгс);

$l_{ц.м.}$  – расстояние от шарнира до центра массы по длине аппарата, м;

$P_m$  – вес мачты, МН (кгс);

$S_g$  – усилие предварительного натяжения вант, Н (кгс);

$l_c$  – расстояние места строповки аппарата от его основания, м;

$l_{ш}$  – расстояние от оси шарнира до оси одиночной мачты, м;

$l_j$  – расстояние от мачты до якоря ванты, м;

$h_\phi$  – высота фундамента, м;

$H$  – высота мачты, м;

$h_T$  – расстояние от оси шарнира до точки крепления тормозной оттяжки, м;

$D$  – диаметр аппарата, м;

$\omega$  – угол между тормозной оттяжкой и горизонталью, град;

$L_{ап}$  – длина аппарата, м;

$\eta$  – КПД одного ролика в блоке.

### **Основные расчетные усилия и параметры:**

Предварительно определим:

1 Расстояние между шарниром и центром массы аппарата

$$l = \sqrt{l_{цм}^2 + (0,5 \cdot D)^2}, \text{ м} \quad (4.1)$$

2 Угол между образующей аппарата и линией, соединяющей шарнир с его центром масс,

$$\nu = \arctg\left(\frac{D}{2 \cdot l_{цм}}\right) \quad (4.2)$$

3 Угол между мачтой и грузовым полиспастом:

для одиночных мачт, установленных за поворотным шарниром (установка мачты по **первому варианту**):

$$\beta = \arctg \left( \frac{l_c \cdot \cos \varphi + l_{ш}}{H - h_{\phi} - l_c \cdot \sin \varphi} \right), \text{ град} \quad (4.3)$$

для одиночных мачт, установленных между поворотным шарниром и центром массы аппарата (установка мачты по **второму варианту**):

$$\beta = \arctg \left( \frac{l_c \cdot \cos \varphi - l_{ш}}{H - h_{\phi} - l_c \cdot \sin \varphi} \right), \text{ град} \quad (4.4)$$

4 Угол между мачтой и вантой определяется графически по расчетной схеме или по формуле:

$$\gamma = \arccg \left( \frac{l_{я}}{H} \right), \text{ град} \quad (4.5)$$

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

при установке мачт по первому варианту **при одиночной мачте**:

$$Q_{п} = \frac{P \cdot l \cdot \cos(\varphi + \nu) \cdot k_{н} \cdot k_{д}}{H \cdot \sin \beta - h_{\phi} \cdot \sin \beta - l_{ш} \cdot \cos \beta}, \text{ Н (кгс)} \quad (4.6)$$

при установке мачт по первому варианту **при парных мачтах**:

$$Q_{п} = \frac{P \cdot l \cos(\varphi + \nu) \cdot k_{н} \cdot k_{д} \cdot k_{м}}{2 \cdot (H \cdot \sin \beta - h_{\phi} \cdot \sin \beta - l_{ш} \cdot \cos \beta)}, \text{ Н (кгс)} \quad (4.7)$$

при установке мачт по второму варианту **при одиночной мачте**:

$$Q_{п} = \frac{P \cdot l \cdot \cos(\varphi + \nu) \cdot k_{н} \cdot k_{д}}{(H \cdot \sin \beta - h_{\phi} \cdot \sin \beta + l_{ш} \cdot \cos \beta)}, \text{ Н (кгс)} \quad (4.8)$$

при установке мачт по второму варианту **при парных мачтах**:

$$Q_n = \frac{Pl \cos(\varphi + \nu) \cdot k_n \cdot k_d \cdot k_m}{2 \cdot (H \cdot \sin \beta - h_{\text{об}} \cdot \sin \beta + l_{\text{ш}} \cdot \cos \beta)}, \text{ Н (кгс)} \quad (4.9)$$

где  $k_n$  – коэффициент неравномерности нагрузки на такелажные элементы с использованием спаренных мачт ( $k_n = 1,1$  – при использовании балансирных устройств;  $k_n = 1,2$  – при отсутствии балансирных 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.

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

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

$$Q_B = Q_n \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \quad (4.10)$$

По усилию  $Q_B$  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).

7. Усилие в сбегавшем конце грузового полиспаста, идущем на лебедку ( $S_n$ ), определяется из выражения:

$$S_n = Q_n \cdot \frac{1 - \eta}{1 - \eta^m}, \quad (4.11)$$

где  $\eta$  – к.п.д. одного ролика в блоке;

$m$  – кратность полиспаста (как правило, равна общему количеству роликов в полиспасте).

8. Суммарное усилие, действующее вдоль оси мачты:

$$N = Q_n \cdot \cos\beta + Q_b + n_g \cdot S_g \cdot \cos\gamma + S_n + P_m \cdot k_n \quad (4.12)$$

где  $n_g$  – количество вант мачты, кроме рабочей (задней);

$S_g$  – усилие предварительного натяжения вант, 10 – 30 КН (кгс) (на схеме не показано);

$S_n$  – усилие в сбегавшем конце грузового полиспаста, Н (кгс) (на схеме не показано)

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

9. Усилие в тормозной оттяжке:

$$T = \frac{P \cdot D}{2 \cdot h_m \cdot \cos\omega}, \quad (4.13)$$

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

При установке мачт по второму варианту рассчитывают дотягивающую систему для подъема аппарата мачтами на втором этапе от угла подъема до положения неустойчивого равновесия. С этой целью определяют максимальное усилие  $F$ , задаваясь углом наклона  $\alpha$  дотягивающей системы к горизонту.

## 4.2 Описание установки

Для запуска виртуальной работы необходимо открыть файл **RMLabas.exe**, выбрать окошко показанное стрелкой 2 (рисунок 4.2) и щелкнуть по нему правой кнопкой мышки или открыть файл **Laba4.exe** находящийся в папке **LABs**. После указанных действий откроются две панели: управляющая и панель исходных данных (рисунок 4.3).



Рисунок 4.2 – Окно запуска программы виртуальной лаборатории с выбором метода монтажа колонного аппарата методом поворота вокруг шарнира

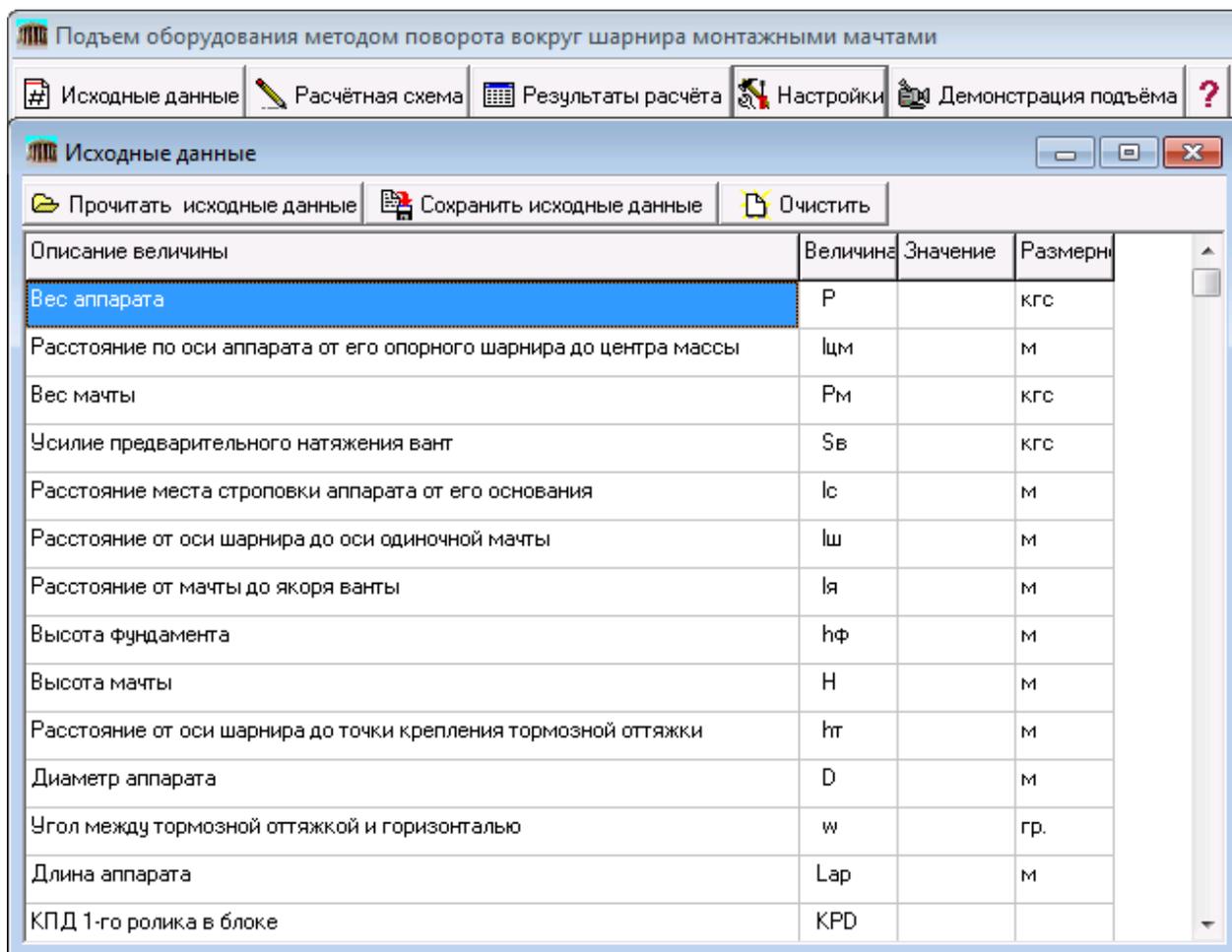


Рисунок 4.3 – Управляющая панель и панель исходных данных

Управляющая панель (рисунок 4.4) содержит пять кнопок: [Исходные данные]; [Расчетная схема]; [Результаты расчета]; [Настройки]; Демонстрация подъема].

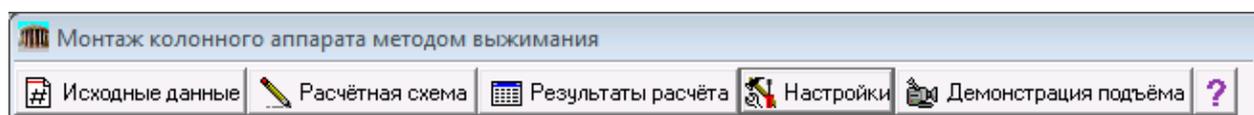


Рисунок 4.4 – Управляющая панель

На рисунках 4.5 – 4.10 показано описание работы программы монтажа колонного аппарата поворотом вокруг шарнира.

Кнопка **[Исходные данные]** включает вкладку содержащую таблицу, в которой осуществляется ввод исходных данных (рисунок 4.5).

Описание величины	Величина	Значение	Размерности
Вес аппарата	P	40789	кгс
Расстояние по оси аппарата от его опорного шарнира до центра массы	l <sub>цм</sub>	15	м
Вес мачты	P <sub>м</sub>	1530	кгс
Усилие предварительного натяжения вант	S <sub>в</sub>	1020	кгс
Расстояние места строповки аппарата от его основания	l <sub>с</sub>	22	м
Расстояние от оси шарнира до оси одиночной мачты	l <sub>ш</sub>	8	м
Расстояние от мачты до якоря ванты	l <sub>я</sub>	25	м
Высота фундамента	h <sub>ф</sub>	1	м
Высота мачты	H	25	м
Расстояние от оси шарнира до точки крепления тормозной оттяжки	l <sub>т</sub>	25	м
Диаметр аппарата	D	1.2	м
Угол между тормозной оттяжкой и горизонталью	w	45	гр.
Длина аппарата	L <sub>ап</sub>	45	м
КПД 1-го ролика в блоке	KPD	0.975	

Рисунок 4.5 – Таблица ввода исходных данных

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]** или очистить их – кнопка **[Очистить]**.

Кнопка **[Расчетная схема]** вызывает окно, отображающую расчетную схему подъема аппарата методом поворота вокруг шарнира для мачт, установленных за поворотным шарниром (рисунок 4.6).

На форме присутствует кнопка [Схема 1] нажатие на которую приводит к смене рисунка на схему поворота вокруг шарнира для мачт, установленных между поворотным шарниром и центром массы поднимаемого аппарата (рисунок 4.7). При этом на рисунке появляется кнопка [Схема 2] при нажатии которой происходит возврат к предыдущему состоянию.

В зависимости от выбранной схемы вкладка [Результаты расчета] результаты расчетов вызывает форму, которая содержит две таблицы расчетных данных (рисунки 4.8 –4.9).

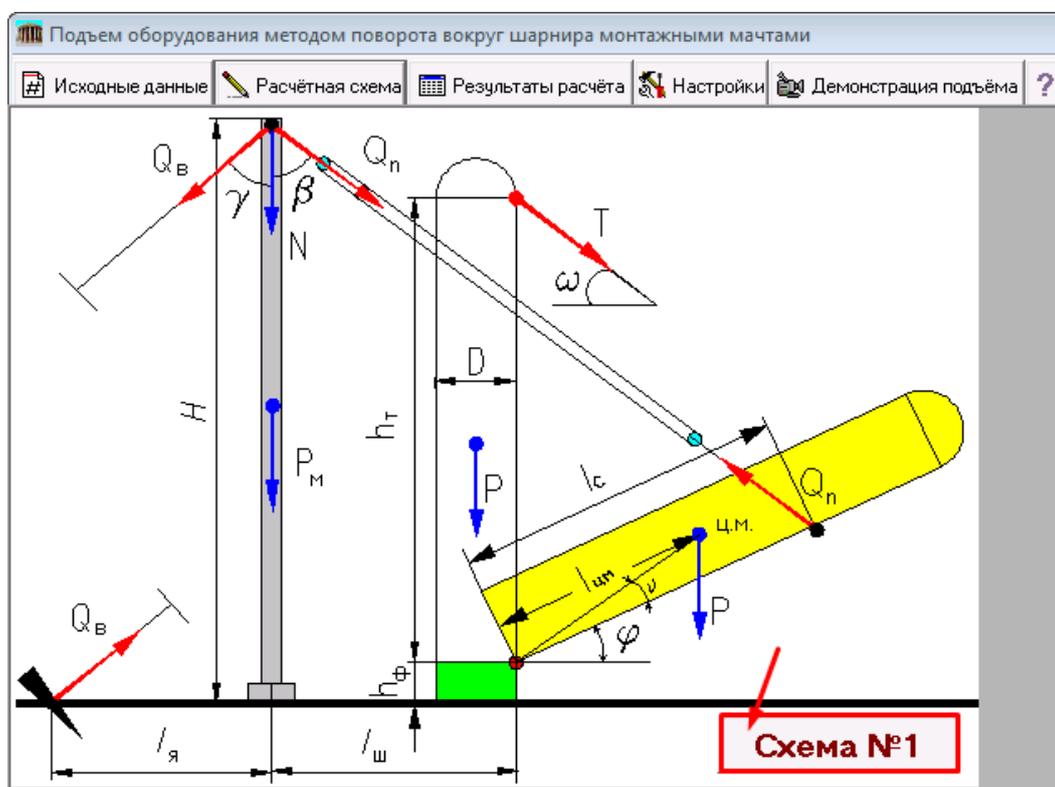


Рисунок 4.5 – Схема подъёма аппарата методом выжимания для мачт, установленных за поворотным шарниром

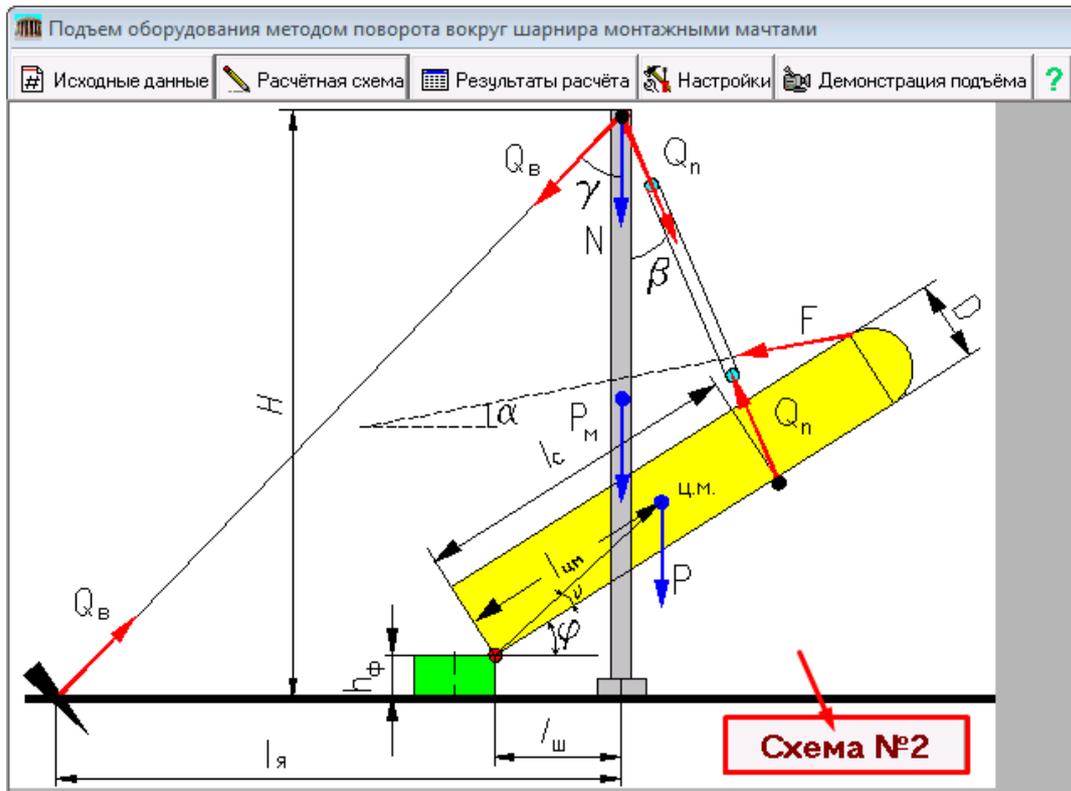


Рисунок 4.5 – Схема подъёма аппарата методом выжимания для мачт, установленных между поворотным шарниром и центром массы поднимаемого аппарата

Первая таблица – [Расчетные параметры]. Содержит общую таблицу расчетных данных (рисунок 4.8).

Результаты расчёта		
Сохранить отчёт		
Расчетные параметры   Подъем аппарата		
Описание величины	Значение	Размерность
Угол гамма	45,000	град
Усилие в тормозной оттяжке	1384,000	кгс
Угол неустойчивого равновесия	87,710	град
Угол центра массы $\nu$	2,291	град

Рисунок 4.8 – Таблица общих расчетных параметров для подъёма аппарата методом выжимания

Вторая таблица – **Подъем аппарата** содержит расчетные данные в зависимости от схемы подъема аппарата (рисунок 4.9).

FI	ВЕТА	Qp	Qв	Sp	N
гр.	гр.	кгс	кгс	кгс	кгс
0,000	51,340	3,058E4	3,377E4	1,549E4	6,16E4
10,000	55,780	2,828E4	3,307E4	1,432E4	5,674E4
20,000	60,120	2,443E4	2,996E4	1,237E4	4,885E4
30,000	64,330	2,067E4	2,635E4	1,047E4	4,117E4
40,000	68,360	1,697E4	2,231E4	8594,000	3,376E4
50,000	72,110	1,333E4	1,794E4	6749,000	2,666E4
60,000	75,400	9738,000	1,333E4	4931,000	1,993E4
70,000	77,900	6201,000	8574,000	3140,000	1,363E4
80,000	78,830	2709,000	3759,000	1372,000	7680,000
87,710	77,200	0,000	0,000	0,000	3125,000
90,000	75,960	-831,800	-1141,000	-421,200	1696,000

Рисунок 4.8 – Таблица «подъем аппарата» окна «результаты расчета»

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

Кнопка **[Настройки]** (см. рисунок 4.3) вызывает окно, позволяющую задать шаг при расчете, количество знаков после запятой и яркость экрана при выводе расчетных данных (рисунок 4.9) .

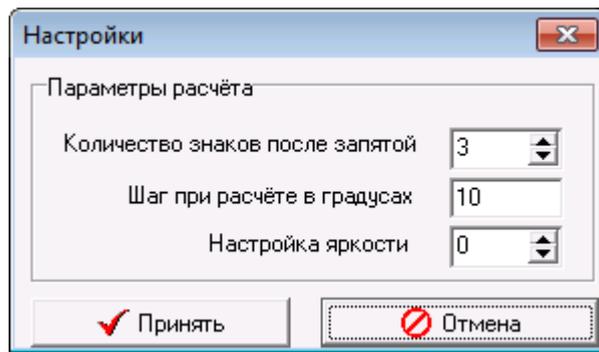


Рисунок 4.9 – Окно «настройки» управляющей панели

Кнопка [Демонстрация подъема] (см. рисунок 4.3) вызывает окно 3х мерного изображения поднимаемого объекта, которая позволяет наблюдать подъём аппарата под любым углом (Рисунок 4.10).

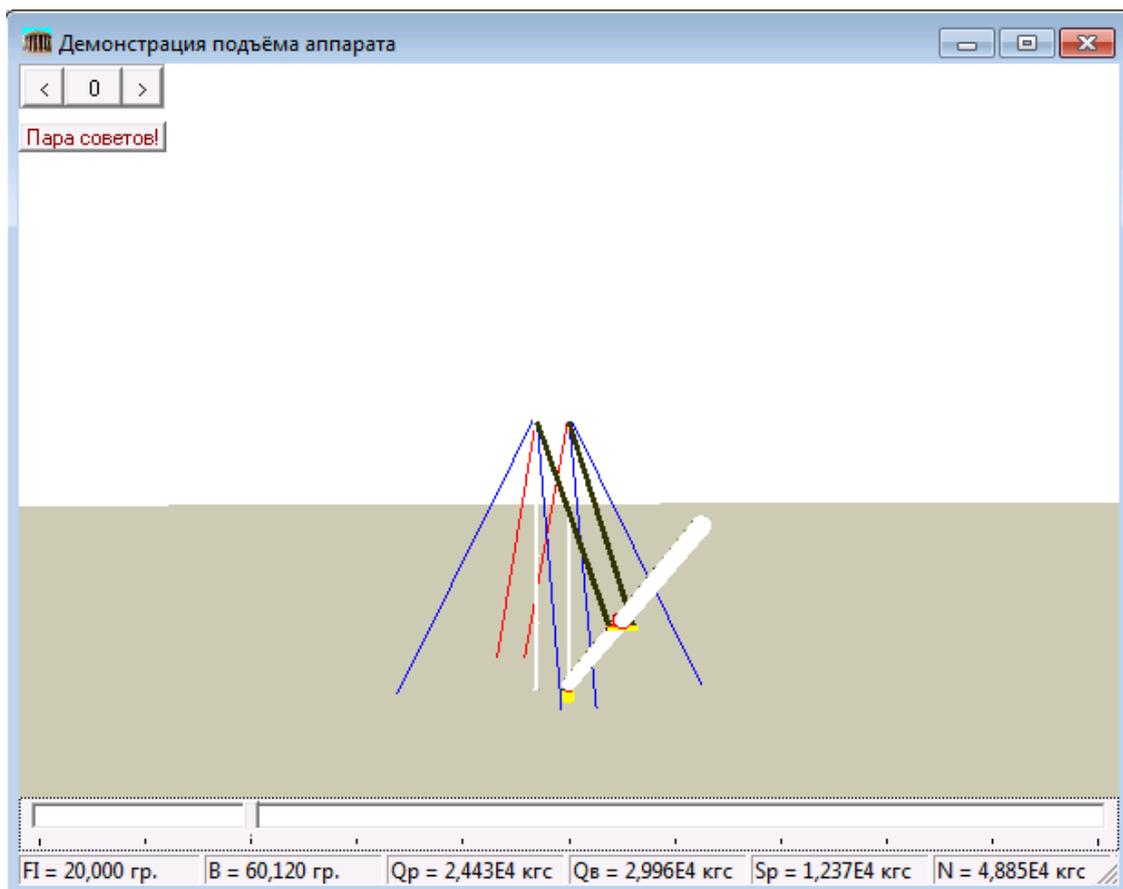


Рисунок 4.9 – Окно «Демонстрация подъема» управляющей панели

Полоса прокрутки позволяет задать нужный угол подъема аппарата. Под полосой прокрутки показываются значения углов и усилий.

### **4.3 Исходные данные к расчету**

Исходные данные к работе приведены в таблице А.4 Приложения А и задаются преподавателем.

### **4.4 Содержание отчета**

При выполнении работы произвести необходимые расчеты и представить в отчете:

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

Результаты расчетов представить в виде таблицы.

## Список использованных источников

1. Гайнуллин, М.Г. Монтаж колонных аппаратов. : метод. указания к лаб. работам/ Казан. гос. технол. ун-т; Сост.: М.Г. Гайнуллин, М.А. Закиров, К.И. Багаутдинов, 2005. 36 с.
2. Поникаров, И. И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): учеб. пособие для вузов / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. - М. : Альфа-М, 2008. - 720 с. : ил. - Библиогр.: с. 712-713. - ISBN 978-5-98281-132-5.
3. Справочник по кранам: в 2 т. / под ред. М. М. Гохберга: Машиностроение, 1988. Т.1: Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций. - Л, 1988. - 536 с.
4. Справочник по кранам: в 2 т. / под ред. М. М. Гохберга: Машиностроение, 1988. Т.2: Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов. – М, 1988. - 559 с.
5. ISO 2408:2004. Канаты стальные проволочные общего назначения. Минимальные требования. – Введ. 2004-01-12.– М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 17 с.
6. ISO 16625:2013 Краны и лебедки. Выбор проволочных канатов, барабанов и шкивов. – Введ. 2014-01-01.– М.: Стандартиформ, 2013. – 26 с.
7. ISO 7363:1986. Краны и подъемные устройства. Технические характеристики и приемочные документы. – Введ. 1987-01-01.– М.: Издательство стандартов, 1986. – 14 с.

## Приложение А (обязательное)

### Варианты заданий к лабораторным работам

Таблица А.1 - Исходные данные к работе №1

Параметр	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вес колонны $P$ , МН	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2
Вес мачты $P_m$ , МН	0,04	0,045	0,046	0,048	0,05	0,052	0,055	0,055
Вес грузовых полиспастах $P_{пл}$ , кН	4	4	4	4	4	4	4	4
Усилие предварительного натяжения ванты $S_1$ , кН	10	10	10	10	10	10	10	10
Число вант на одной мачте $n$	4	4	4	4	4	4	4	4
Коэффициент динамичности $K_d$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Длина мачты $l$ , м	40	45	46	48	50	52	55	55
Высота колонны $H$ , м	32	37	38	40	42	45	46	48
Расстояние центра массы колонны от основания $l_{цм}$ , м	18	20	21	23	24	25	30	35
Диаметр колонны $D$ , м	2	2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,8
Расстояние от оси мачты до якоря задней ванты $a$ , м	40	45	46	48	50	52	55	55
Расстояние между осями мачт $b$ , м	4	4	5	5	6	6	6	6

продолжение таблицы А.1

Расстояние от оси мачты до якоря боковой ванты $g$ , м	50	50	55	55	60	60	65	65
Расстояние по горизонтали от оси мачты до центра массы аппарата в момент отрыва $d$ , м	16	14	12	10	8	6	5	4
Длина тормозной оттяжки $f$ , м	30	30	35	35	40	40	45	45
Расстояние по вертикали от уровня земли до центра массы аппарата в момент отрыва $h$ , м	15	16	18	20	22	25	26	35

Таблица А.2 - Исходные данные к работе №2

Параметр	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вес аппарата $P$ , кгс	15296	25493	30591	40789	61183	71380	91774	142760
Расстояние по оси аппарата от его шарнира до центра массы $l_{ц.м.}$ , м	5	6	7	6	6,5	7,5	8	9
Расстояние по ширине аппарата от его опорного шарнира до центра масс $r$ , м	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
Вес портала $R_{п}$ , кН	4800	5600	6000	6400	7138	8000	9200	10401
Расстояние по оси портала от его шарнира до центра массы портала $l_{п}$ , м	12,5	15,5	16	17	21	22	25	30
Длина портала $l$ , м	15	18	19	20	24	25	30	35
Расстояние по горизонтали от оси шарнира портала до	2	2	2	2	2	2	2	2

Продолжение таблицы А.2

точки строповки аппарата в его исходном положении перед подъемом $a$ , м								
Расстояние по горизонтали между опорными шарнирами аппарата и портала $b$ , м	8	9	11	11,5	12,1	12,5	13,5	11,5
Расстояние по вертикали между точкой строповки аппарата и шарниром портала в исходном положении $h$ , м	1,6	1,6	1,8	1,8	2	2	2,5	2,5
Высота фундамента под аппарат над шарниром портала $h_1$ , м	0,6	0,6	0,8	0,8	1	1	1,5	1,5

Продолжение таблицы А.2

Расстояние по вертикали опорного шарнира аппарата до точки строповки аппарата в его исходном положении $s, м$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Расстояние по оси аппарата между центром массы его и монтажными шуцерами $\Delta l, м$	1	1	2	2	2,5	2,5	3	3	3
Длина аппарата, $L_{ап}$	14	16	18	20	22	24	26	30	30
Диаметр аппарата $D, м$	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	2,8

Таблица А.3 - Исходные данные к работе №3

Параметр	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вес аппарата $P$ , кгс	20394	30591	40789	61183	91774	122366	163155	203943
Вес подпорки (рамной опоры) $P_{п}$ , кН	1224	1468	1835	2203	3059	3426	3671	4283
Расстояние по оси подпорки от его шарнира до центра массы $l_{п}$ , м	7	8	12	15	18	20	22	15
Длина подпорки $a$ , м	10	12	15	18	25	28	30	35
Расстояние по длине аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы $S$ , м	8	10	14	15	18	22	25	28
Расстояние по ширине	2	2	2	2	2,2	2,2	2,4	2,4

аппарата от оси его шарнира до оси поворотной цапфы $B$ , м								
Высота фундамента над шарниром тележки $h$ , м	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5
Расстояние по оси аппарата от его шарнира до центра массы $l_{цм}$ , м	6	6	8	12	14	17	19	22
Расстояние от шарнира до оси аппарата (проходящей через центр массы) $R_2$ , м	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,2	1,3	1,3
Диаметр аппарата $D$ , м	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,6
Высота аппарата $l$ , м	15	18	20	25	30	35	40	45

Угол наклона аппарата к горизонту $\alpha$	5	10	15	5	10	15	5	10
---	---	----	----	---	----	----	---	----

Таблица А.4 - Исходные данные к работе №4

Параметр	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вес колонны $P$ , кгс	20394	30591	40789	50986	76479	101972	152957	193746
Расстояние центра массы колонны от основания $l_{ц.м.}$ , м	9	10	12	16	18	20	21	22
Вес мачты $P_m$ , кгс	1530	2549	2855	3059	3263	4079	4589	5099
Усилие предварительного натяжения вант $S_0$ , кН	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
Расстояние от места строповки аппарата до его основания $l_c$ , м	10	12	14	15	16,5	20	22	25
Расстояние от оси шарнира до оси мачты $l_{ш}$ , м	3	3	4	4	5	5	6	6
Расстояние от мачты до якоря ванты $l_я$ , м	14	18,5	21	23,5	25	34	38	45
Высота фундамента $h_ф$ , м	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1

Продолжение таблицы А.4

Высота мачты $H$ , м	17	20	22	24	25	32	35	40
Расстояние от оси шарнира до точки крепления тормозной оттяжки $h_T$ , м	14	17	19	21	24	28	32	40
Диаметр колонны $D$ , м	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8
Угол между тормозной оттяжкой и горизонталью $\omega$ , град	45	45	45	45	45	45	45	45
Длина аппарата $L_{ап}$ , м	15	18	20	22	25	30	35	40
КПД одного ролика в блоке, $\eta$	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975