

## Содержание

### Введение

1 Расчёт необходимого числа анкерных болтов и общей нагрузки на

фундамент

2 Опора колонного аппарата

3 Опорный узел

4 Расчёт в условиях монтажа

5 Нагрузки на фундамент

6 Монтаж аппарата безъякорным методом с помощью

портала

7.Основная литература

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Монтаж колонного аппарата безъякорным методом	Лит.			Масса	Масштаб	
Разраб.		Барсуков Б Н									
Провер.											
Т. Контр.						Лист Тп			Листов		
Реценз.						Омск					
Н. Контр.											
Утверд.											

## 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

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Лист

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 поворота вокруг шарнира. К ним относятся:

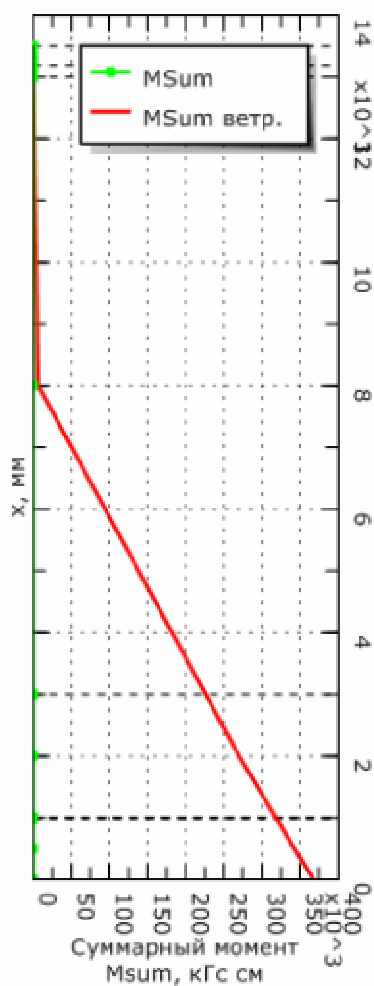
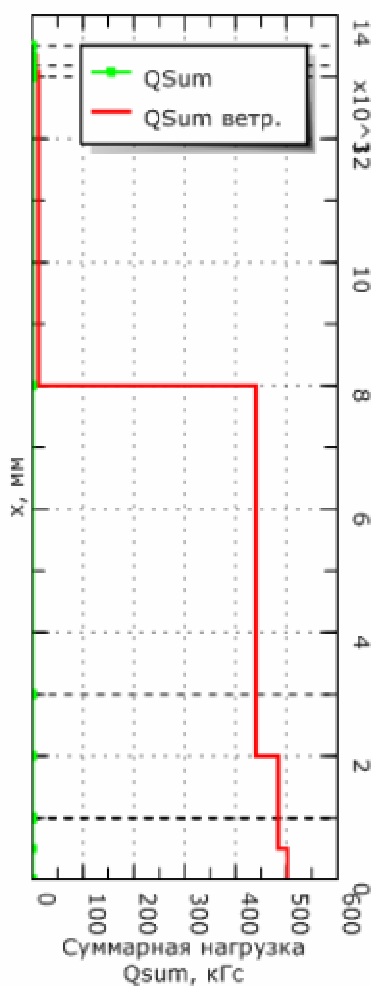
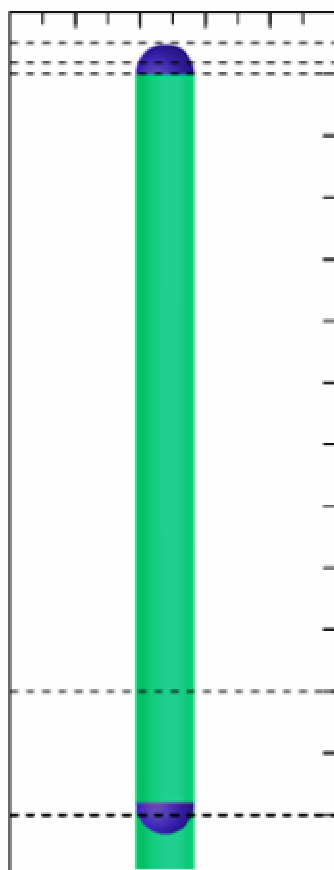
- а) метод монтажа с помощью самомонтирующегося: портала (или шевра);
- б) метод выжимания скользящей по рельсам подпоркой (или порталом);
- в) метод выталкивания с помощью гидравлического подъемника.

1. Расчёт необходимого числа анкерных болтов и общей нагрузки на фундамент

Название установки:	разделение_СО2-аммиак
Наименование объекта:	проект колонны абсорбции
Вид испытаний:	Гидроиспытания
Пробное давление:	8,6 кГс/кв.см
Учёт ветровых нагрузок:	Да
Ветровой район:	II
Тип местности (по СНиП 2.01.07-85):	A
$q_0$ :	0,003 кГс/кв.см
Учёт сейсмических нагрузок:	Нет

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчёт в условиях монтажа (коррозия учтена)

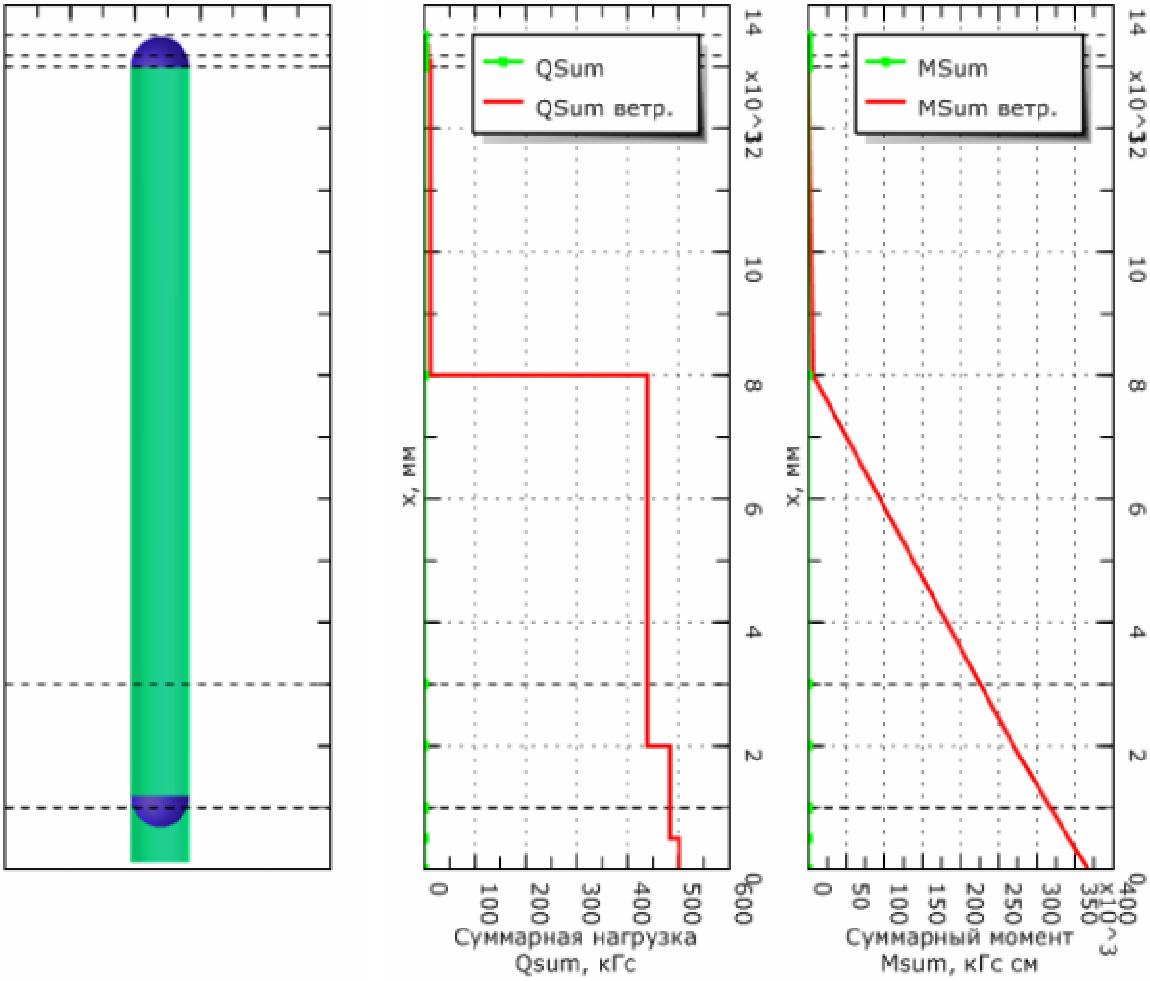


Элемент корпуса	Высота до начала элемента, мм	Вертикальная нагрузка, кгс	Горизонтальная нагрузка, с учётом ветровой нагрузки, кгс	Изгибающий момент, с учётом ветровой нагрузки, кгс см
Опора колонного аппарата №1	0	-5421	502,1	$0,3676 \cdot 10^6$
Днище сферическое №2	1000	-5177	483,7	$0,3183 \cdot 10^6$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист

Обечайка цилиндрическая №1	1000	-5054	483,7	$0,3183 \cdot 10^6$
Днище сферическое №1	$1,3 \cdot 10^4$	-123,3	11,92	304,4

Расчёт в условиях монтажа (коррозия не учтена)

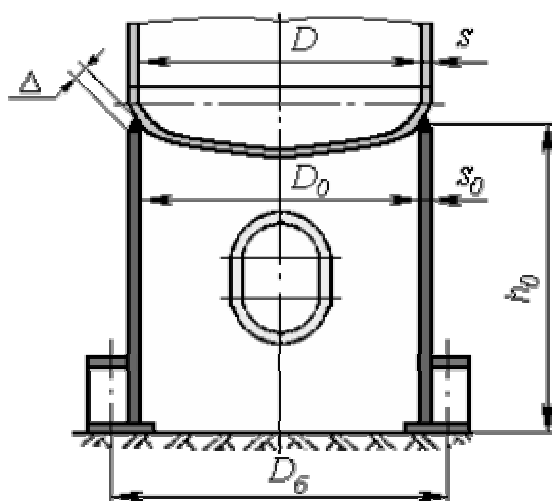


Элемент корпуса	Высота до начала элемента, мм	Вертикальная нагрузка, кГс	Горизонтальная нагрузка, с учётом ветровой нагрузки, кГс	Изгибающий момент, с учётом ветровой нагрузки, кГс см
--------------------	---	----------------------------------	--	--

Опора колонного аппарата №1	0	-5421	501,6	$0,3669 \cdot 10^6$
Днище сферическое №2	1000	-5177	483,1	$0,3177 \cdot 10^6$
Обечайка цилиндрическая №1	1000	-5054	483,1	$0,3177 \cdot 10^6$
Днище сферическое №1	$1,3 \cdot 10^4$	-123,3	11,92	304,4

## 2 Опора колонного аппарата

Опорная обечайка



Исходные данные

Несущий элемент: Днище  
сферическое №2

Высота опоры,  $h_0$ : 1000 мм

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист

Диаметр верхнего основания,  $D_0$ : 1000 мм

Опорный элемент

Группа патрубков

Цилиндрический участок:

Материал: 09Г2С

Толщина стенки,  $s_0$ : 10 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 2 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0,8 мм

Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 2,8 мм

Фундамент:

Бетон: В15 (М200)

*Расчёт в рабочих условиях*

Условия нагружения:

Расчётная температура,  $T$ : 20 °С

Расчётный изгибающий момент в верхнем сечении:  $0,3183 \cdot 10^6$  кГс см

Расчётный изгибающий момент в нижнем сечении:  $0,3676 \cdot 10^6$  кГс см

Расчётное поперечное усилие в верхнем сечении: 483,7 кГс

Расчётное поперечное усилие в нижнем сечении: 502,1 кГс

Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ : 5421 кГс

***Допускаемые напряжения для опорной обечайки:***

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_0 = 1960 \text{ кГс/кв.см}$$

***Допускаемые напряжения для корпуса аппарата:***

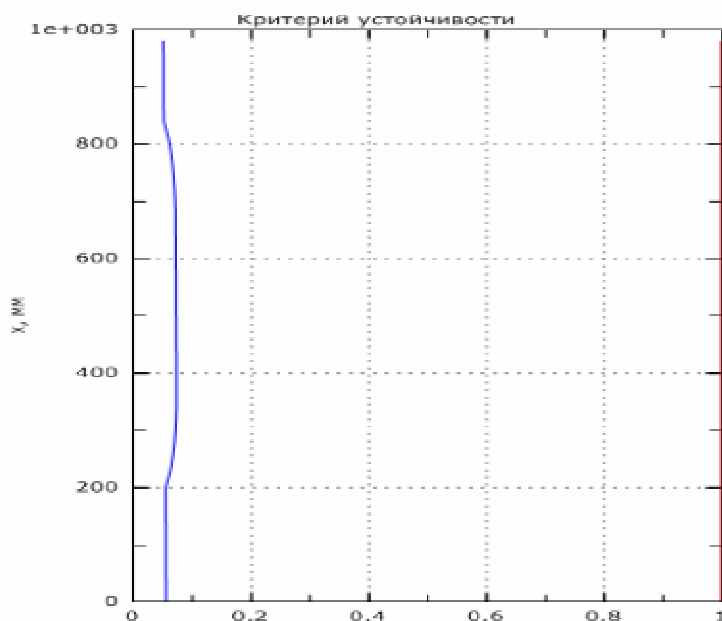
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °С (рабочие условия):

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$[\sigma]_K = 1960 \text{ кгс/кв.см}$

Расчёт опорной обечайки по ГОСТ Р 51274-99



--- Критерий устойчивости

--- Предельное значение

### ***Параметры опасного сечения***

Координата сечения (от нижней точки основания):  $x = 360 \text{ мм}$

Элемент, содержащий опасное сечение: Цилиндрический участок опоры

Площадь:  $A = 2,057 \cdot 10^4 \text{ кв. мм}$

$$\psi_1 = \frac{A}{\pi \cdot (D_2 + s' - c') \cdot (s' - c')} = 2,057 \cdot 10^4 / (3,142 \cdot (1000 + 10 - 2,8) \cdot (10 - 2,8)) = 0,9027$$

Наименьший момент сопротивления:  $W = 0,4154 \cdot 10^7 \text{ куб.мм}$

$$\psi_2 = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot (D_2 + s' - c')^2 \cdot (s' - c')} = 4 \cdot 0,4154 \cdot 10^7 / (3,142 \cdot (1000 + 10 - 2,8)^2 \cdot (10 - 2,8)) = 0,7241$$

Расстояние от оси до центра тяжести:  $b_s = 56,07 \text{ мм}$

$$\psi_3 = \frac{b_s}{D_2} = 56,07 / 1000 = 0,05607$$

Осевая нагрузка, действующая в сечении  $x = 360 \text{ мм}$ :

$$F = 5421 \text{ кгс}$$

Изгибающий момент, действующий в сечении  $x = 360 \text{ мм}$ :

$$M = 0,3499 \cdot 10^6 \text{ кгс см}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Устойчивость опорной обечайки в опасном сечении:

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} = 5421 / (0,9027 * 2,619 \cdot 10^5) + (0,3499 \cdot 10^6 + 5421 * 0,05607 * 1000) / (0,7241 * 1,055 \cdot 10^7) = 0,0727$$

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1,0; \quad \text{Условие устойчивости выполнено}$$

Прочность сварного шва, соединяющего корпус колонны с опорной обечайкой (сечение Г-Г):

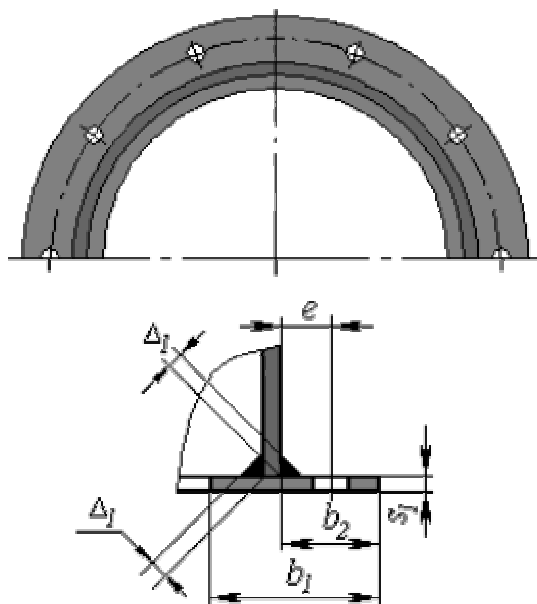
$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) = 1 / (3,142 * 1000 * 10) * (4 * 0,3183 \cdot 10^6 / 1000 + 5421) = 57,78 \text{ кгс/кв.см}$$

$$0,8 \cdot \min\{[\sigma]_G; [\sigma]_K\} = 0,8 * \min\{1960; 1960\} = 1568 \text{ кгс/кв.см}$$

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0,8 \cdot \min\{[\sigma]_G; [\sigma]_K\} \quad \text{Условие прочности выполнено}$$

### 3 Опорный узел

Расчёт опорного узла по ГОСТ 24757–81



Несущий элемент:

Опора колонного  
аппарата

Тип элемента:

1

Материал:

09Г2С

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Исполнительная толщина нижнего опорного кольца, 40 мм

$s_1$ :

Ширина нижнего опорного кольца,  $b_1$ : 2500 мм

Выступающая ширина нижнего опорного кольца,  $b_2$ : 2200 мм

Толщина сварного шва в месте приварки опорной обечайки,  $D_1$ : 40 мм

#### Анкерные болты:

Материал: 10Г2С1

Номинальный диаметр,  $d$ : 80 мм

Количество,  $n$  36

Диаметр болтовой окружности,  $D_6$ : 5000 мм

#### Расчёт в рабочих условиях

##### Условия нагружения:

Расчётный изгибающий момент,  $M$ :  $0,3676 \cdot 10^6$  кГс см

Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ : 5421 кГс

#### Результаты расчёта:

##### *Допускаемые напряжения для элемента опорного узла:*

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 1830 \text{ кГс/кв.см}$$

##### *Допускаемые напряжения для опорной обечайки:*

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_0^{20} = 1960 \text{ кГс/кв.см}$$

##### *Допускаемые напряжения для анкерных болтов:*

Допускаемые напряжения для материала 10Г2С1:

$$[\sigma]_B = 1700 \text{ кГс/кв.см}$$

##### *Допускаемые напряжения для бетона:*

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Допускаемые напряжения для бетона класса В15 (М200):

$$[\sigma]_6 = 85 \text{ кгс/кв.см}$$

### Толщина нижнего опорного кольца

$$\lambda_1 = 1$$

$$\max \left\{ \lambda_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1,5 \cdot s_0 \right\} = \max \{ 1 * 2200 * ((4 * 0,3676 \cdot 10^6 / 5000 + 5421) / (5000 * 2500 * 1830))^{1/2} + 2,8; 1,5 * 10 \} = 16,1 \text{ мм}$$

Условие работоспособности:  $s_1 \geq \max \left\{ \lambda_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1,5 \cdot s_0 \right\}$

40 мм  $\square$  16,1 мм. Условие прочности выполнено

### Ширина нижнего опорного кольца

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_6} = (4 * 0,3676 \cdot 10^6 / 5000 + 5421) / (3,142 * 5000 * 85) = 0,6263 \text{ мм}$$

Условие работоспособности:  $b_1 \geq \frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_6}$

2500 мм  $\square$  0,6263 мм. Условие прочности выполнено

### Дополнительное условие работоспособности нижнего опорного кольца

$$\frac{4 \cdot M}{D_0} \leq F$$

$$\sqrt{\left( \frac{4 \cdot M}{D_0} - F \right) \cdot \frac{4 \cdot e}{\pi \cdot D_0 \cdot [\sigma]_0}} + c = ((4 * 0,3676 \cdot 10^6 / 1000 - 5421) * 4 * 1990 / (3,142 * 1000))^{1/2} + 2,8 = 37,44 \text{ мм}$$

Условие работоспособности:  $s_1 \geq \sqrt{\left( \frac{4 \cdot M}{D_0} - F \right) \cdot \frac{4 \cdot e}{\pi \cdot D_0 \cdot [\sigma]_0}} + c$

40 мм  $\square$  37,44 мм. Условие прочности выполнено

### Толщина сварного шва в месте приварки опорной обечайки в исполнении 1 к нижнему опорному кольцу

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_0} - F}{1,2 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot [\sigma]_0} = (4 * 0,3676 \cdot 10^6 / 1000 - 5421) / (1,2 * 3,142 * 1000) = 0,1256 \text{ мм}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Условие работоспособности:  $\Delta_1 \approx \frac{\frac{4 \cdot M}{D_0} - F}{1,2 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot [\sigma]_0}$

40 мм  $\square$  0,1256 мм. Условие прочности выполнено

#### 4 Расчёт в условиях монтажа

##### **Условия нагружения при монтаже:**

Расчётный изгибающий момент, М: 0,3676·10<sup>6</sup> кГс см

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 5421 кГс

##### **Результаты расчёта:**

##### ***Допускаемые напряжения для элемента опорного узла:***

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °С  
(условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \square \cdot R_e^{20} / 1,1 = 1 \cdot 2800 / 1,1 = 2545 \text{ кГс/кв.см}$$

##### ***Допускаемые напряжения для опорной обечайки:***

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °С  
(условия монтажа):

$$[\sigma]_0^{20} = \square \cdot R_e^{20} / 1,1 = 1 \cdot 3000 / 1,1 = 2727 \text{ кГс/кв.см}$$

##### ***Допускаемые напряжения для анкерных болтов:***

Допускаемые напряжения для материала 10Г2С1:

$$[\sigma]_B = 1700 \text{ кГс/кв.см}$$

##### ***Допускаемые напряжения для бетона:***

Допускаемые напряжения для бетона класса В15 (М200):

$$[\sigma]_6 = 85 \text{ кГс/кв.см}$$

##### ***Прочность анкерных болтов***

$$M_3 \leq 0,44 \cdot F_3 \cdot D_6$$

Условие прочности выполнено

							Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

## 5 Нагрузки на фундамент

Состояние	Осевая сила, кГс	Изгибающий момент, кГс см	Горизонтальная сила, кГс
Рабочие условия	5421	$0,3676 \cdot 10^6$	502,1
Условия монтажа	5421	$0,3676 \cdot 10^6$	502,1

### Приведенные нагрузки на фундамент по АТК 24.200.04–90:

Максимальная приведенная нагрузка на фундамент:

$$Q_{\max} = \max \left\{ \frac{4 \cdot M_1}{D} + F_1; \frac{4 \cdot M_2}{D} + F_2 \right\} = \max \{ 4 * 0,3676 \cdot 10^6 / 1 \cdot 10^3 + 5421; 4 * 2,312 \cdot 10^5 / 1 \cdot 10^3 + 1,594 \cdot 10^4 ; \} = 2,519 \cdot 10^4 \text{ кГс}$$

Минимальная приведенная нагрузка на фундамент:

$$Q_{\min} = \frac{4 \cdot M_1}{D} - F_1 = 4 * 0,3676 \cdot 10^6 / 1 \cdot 10^3 - 5421 = 9283 \text{ кГс}$$

## 6 Монтаж аппарата

### безъякорным методом с помощью

#### портала

**Цель** Рассчитать характеристики при подъёме аппарат с помощью самомонтирующегося портала 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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Лист

состоит из трех этапов (рис, 1):

- самоподъем портала , соединенного с поднимаемым аппаратом полиспастами, до момента начала подъема аппарата;
- подъем аппарата с одновременным опусканием портала ;
- 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 3-5°) угол наклона портала к горизонту увеличивается (до 70-85°), 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.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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.

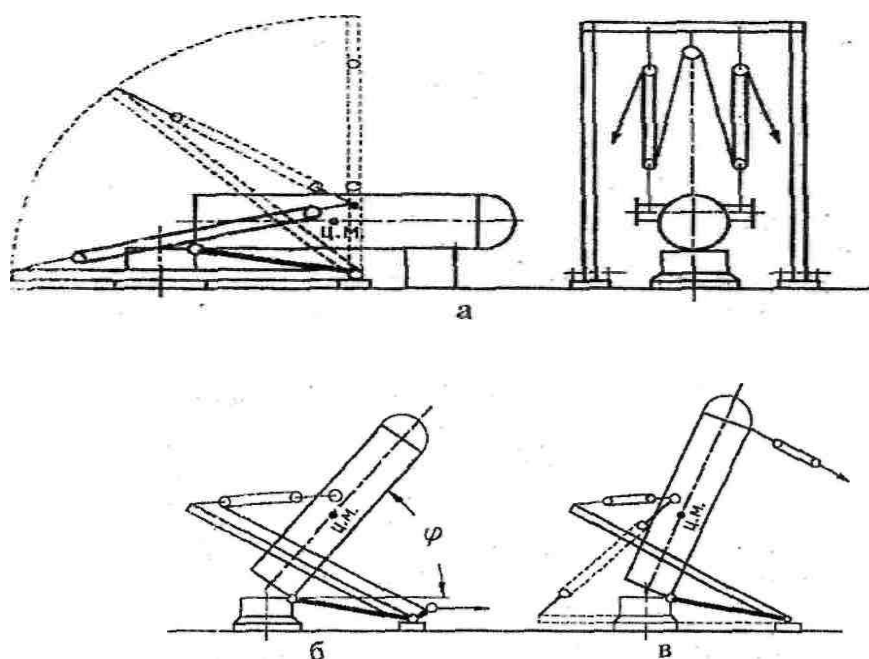


Рис. 1. Схема подъема аппарата безъякорным способом.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Лист



положение, а по окончании монтажа демонтировать основные монтажные средства (портал, мачты) с помощью дополнительных кранов или такелажных средств.

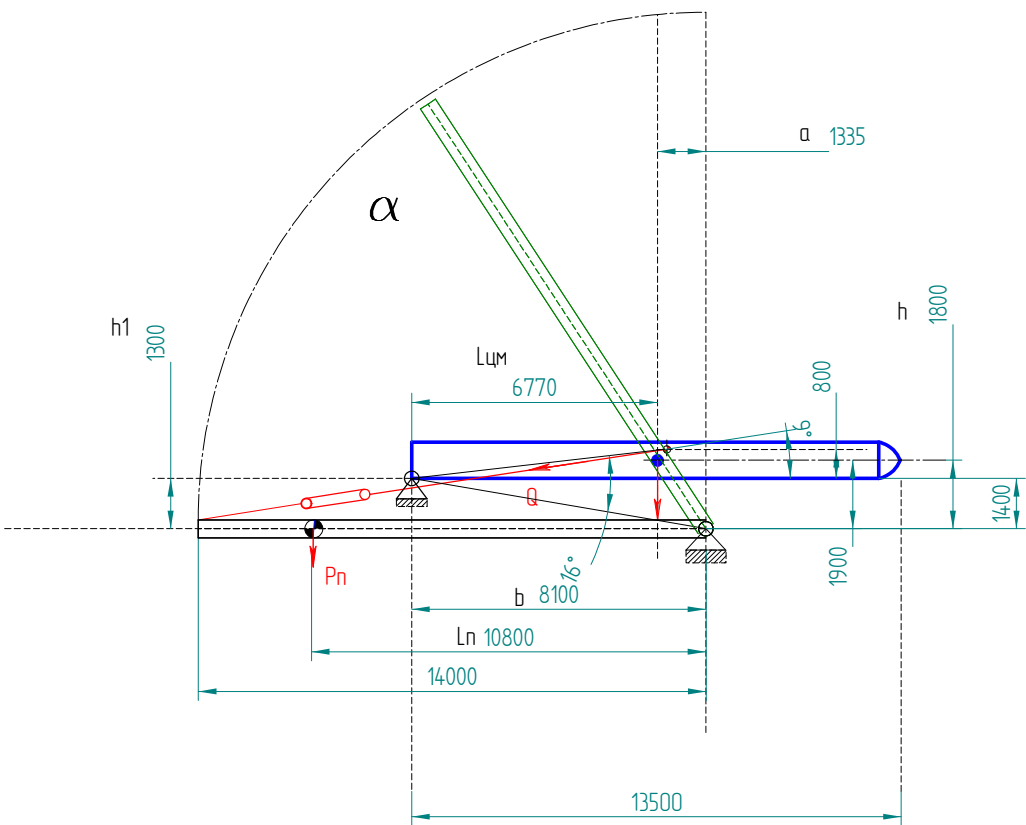
4. Отсутствие горизонтальных монтажных нагрузок на фундамент аппарата.

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 опорио-поворотном шарнире.

Определение усилий в элементах такелажной оснастки

Обозначения (рис. 2):



$P, P_n$ — вес поднимаемого аппарата и портала соответственно,  $H$ ;

$L$  Ц.М- - расстояние по оси аппарата от его опорного шарнира до центра массы,  $m$ ;

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$L_n$  - расстояние по оси портала от его шарнира до центра массы портала, м;

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

$L$  - длина портала, м;

$L_{an}$  - длина аппарата, м;

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

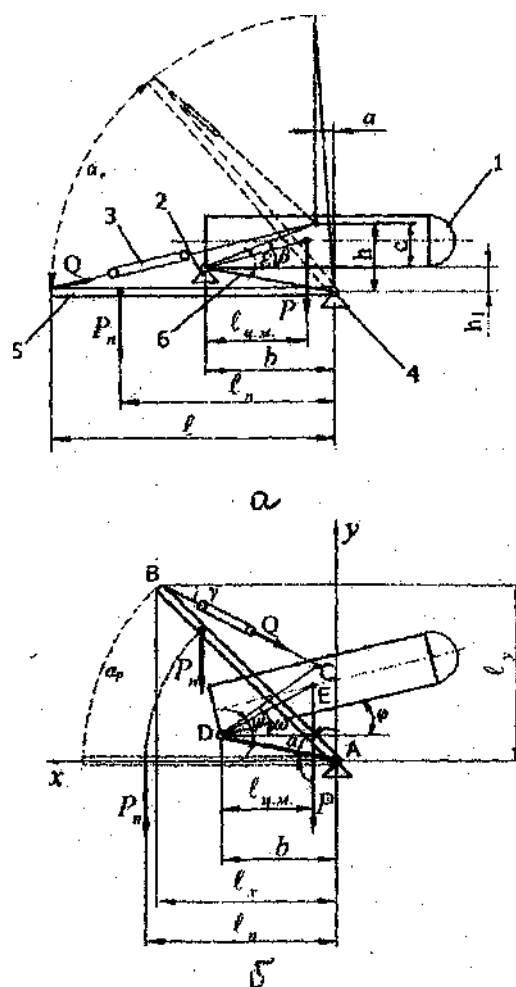


Рис.3. Расчетная схема определения усилий в элементах  
такелажной оснастки:

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;

$L_x$   $L_y$ - 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

Для расчета применяем программный пакет MathCAD

$P := 160000$  Полный вес колонны  $P_n := 25000$  Вес портала

$L_{цм} := 6.770$   $L_n := 10.800$   $L := 14.000$   $b := 8.10$

$L_{ан} := 13.500$   $h_1 := 1.300$   $h := 1.8$

$c := h - h_1$   $c = 0.5$   $a := 1.330$

Угол подъема портала  **$\alpha_p$**  при некотором угле наклона аппарата ( $\varphi = 0$ -

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

90°), когда система аппарат-портал находится в равновесии (так называемый равновесный угол подъема портала), находится по формуле (при любых значениях а):

$$\sin(\omega + \alpha_p) - A \cdot \cos(\psi) \cdot \left( \frac{L_0}{L} \cdot \cos(\omega) - \frac{b}{L} \right) \tan(\alpha_p) =$$

$$\left[ A \cdot \cos(\psi) \cdot \left( \frac{L_0}{L} \cdot \sin(\omega) + \frac{h_1}{L} \right) + \frac{b}{L} \cdot \sin(\omega) + \frac{h_1}{L} \cdot \cos(\omega) \right]$$

Применяя встроенный метод решения систем уравнений находим

Given

$$\sin(\omega + \alpha_p) - A \cdot \cos(\psi) \cdot \left( \frac{L_0}{L} \cdot \cos(\omega) - \frac{b}{L} \right) \tan(\alpha_p) = C_1$$

$$\left[ A \cdot \cos(\psi) \cdot \left( \frac{L_0}{L} \cdot \sin(\omega) + \frac{h_1}{L} \right) + \frac{b}{L} \cdot \sin(\omega) + \frac{h_1}{L} \cdot \cos(\omega) \right] = C_2$$

$$C_1 - C_2 = 0$$

$$\text{Find}(\alpha_p, C_1, C_2) = \begin{pmatrix} 1.00295 \\ 2.86484 \\ 2.86484 \end{pmatrix}$$

$$1.00295 \cdot \frac{180}{\pi} = 57.4648$$

Получен угол равновесный угол в радианах

Угол равновесный в градусах равен :

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$1.00295 \cdot \frac{180}{\pi} = \blacksquare$$

Усилие в грузовых полиспастах в начальный момент подъема портала :

$$Q_0 := \frac{P_n \cdot L_n \cdot \sqrt{L^2 + h^2}}{L \cdot h} \quad Q_0 = 151235 \quad \text{Ньютон}$$

Усилие в грузовых полиспастах для любого положения поднимаемого портала (аппарат находится в горизонтальном положении,

$$Q(\alpha) := \frac{P_n \cdot L_n}{L} \cdot \sqrt{\left(\frac{L \cdot \cos(\alpha)}{h}\right)^2 + \left(\frac{L \cdot \sin(\alpha)}{h} - 1\right)^2}$$

Строим график зависимости усилия от угла подъёма :

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

■  
усилие на канате\_(Ньютон )

Q (alfa)



alfa

угол наклона портала (радиан)

Минимальное усилие достигается при угле наклона портала равном

$$1.57 \cdot \frac{180}{\pi} = 89.95437$$

$$Q_{\min} := \frac{P_n \cdot L_n}{L} \cdot \sqrt{\left(\frac{L \cdot \cos(1.57)}{h}\right)^2 + \left(\frac{L \cdot \sin(1.57)}{h} - 1\right)^2}$$
$$Q_{\min} = 130714.29273$$

Максимальное усилие достигается при угле наклона портала равном 0

$$Q_{\max} := \frac{P_n \cdot L_n}{L} \cdot \sqrt{\left(\frac{L \cdot \cos(0)}{h}\right)^2 + \left(\frac{L \cdot \sin(0)}{h} - 1\right)^2}$$
$$Q_{\max} = 151234.71419$$

Угол наклона грузового полиспаста к горизонту

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\gamma_2 := \operatorname{atan}\left(\left(\frac{L \cdot \sin(\alpha_p) - L_0 \cdot \sin(\omega) - h_1}{L \cdot \cos(\alpha_p) - L_0 \cdot \cos(\omega) - b}\right)\right)$$

$$\gamma_2 = -0.90726$$

Отсчет против часовой стрелки по этому угол получен со знаком минус .

Переводим в градусы

$$\gamma_{2r} := |\gamma_2| \cdot \frac{180}{\pi} \quad \gamma_{2r} = 51.9819$$

Находим натяжение грузового полиспаста из условия равновесия портала :

$$Q_1 := \frac{P_n \cdot L_n \cdot \cos(\alpha_p)}{L \cdot \sin(\alpha_p - \gamma_2)} \quad Q_1 = 16272.52334$$

Находим натяжение грузового полиспаста из условия равновесия аппарата

$$Q_2 := \frac{P \cdot R \cdot \cos(\psi)}{L_0 \cdot \sin(\omega - \gamma_2)} \quad Q_2 = 16272.52334$$

Сходимость величин является показателем правильности расчета .

Расчет длины полиспаста по мере подъёма представим в виде графика :

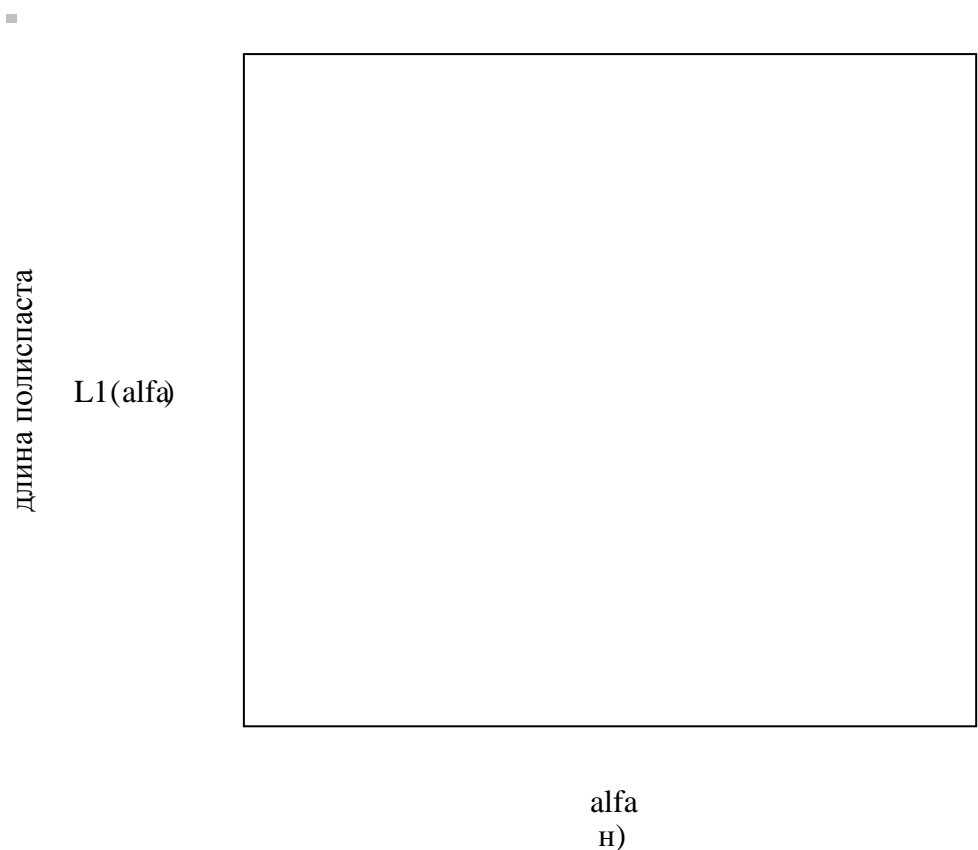
$$\text{shag} := \frac{\pi}{180} \quad \text{stop} := \alpha_p \quad L = 14$$

$$\text{alfa} := 0, \text{shag} .. \text{stop}$$

$$L_1(\text{alfa}) := \sqrt{(L \cdot \sin(\text{alfa}) - h)^2 + (L \cdot \cos(\text{alfa}) - a)^2}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## График изменения длины



Длина полиспаста при полном подъёме

$$L_{n2} := \sqrt{(L \cdot \sin(\alpha_p) - L_n \cdot \sin(\omega) - h_1)^2 + (L \cdot \cos(\alpha_p) + L_0 \cdot \cos(\omega) - b)}$$

$$L_{n2} = 3.09153$$

Разрывное усилие каната

$k_1$  – коэффициент динамичности, принимаем  $k_1 = 1.1$

$k_2$  – коэффициент перегрузки, принимаем  $k_2 = 1.2$ .

Соответственно для

стропового каната коэффициент запаса прочности  $k_3 = 5.5$ .

$$R := Q_{\max} \cdot 1.2 \cdot 1.1 \cdot 5.5$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$R = 1097964.025$$

н

Выбираем канат стальной двойной свивки ГОСТ 3079-80 диаметром  $d_c = 20,5$  мм маркировочной группы 160 с разрывным усилием  $[S] = 163$  т, вес 1 метра каната  $q_c = 122$  кг.

### 7.Основная литература.

В. И. Ермаков, В. С. Шеин Ремонт и монтаж химического оборудования:

Учебное пособие для вузов. Л.: «Химия», 1981.

Рахмилевич З.З., Радзин И.М., Фарамазов С.А. Справочник механика химических и нефтехимических производств – М.: «Химия» 1985 – 592 с.

Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник. В 2-х т. / Ред. совет: В. С. Корсаков (пред.) и др.- М.: «Машиностроение», 1983. – Т. 2.

Монтаж машин и агрегатов. / Под ред. В. С. Демина, П. П. Алексеенко, 1983. - 360 с.

В. З. Маршев и др. Монтаж машин и аппаратов универсального применения. – Справочник монтажника. М.: «Стройиздат», 1980

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		