

Министерство науки и высшего образования РФ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ институт

## ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

*проспись*                    *инициалы, фамилия*  
«                                »                            20                    г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

## **15.03.03 «Прикладная механика»**

## Расчет элементов шахты лифта при монтаже и эксплуатации лифтов типа ЛП

Руководитель \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н. А.В. Колотов

Выпускник \_\_\_\_\_ А.О. Бобылев

Выпускник \_\_\_\_\_ А.О. Бобылев

Красноярск 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Описание и работа лифта и его составных частей.....	4
1.1 Назначение лифта.....	4
1.2 Состав, устройство и работа лифта .....	4
1.3 Описание и работа составных частей лифта .....	7
1.3.1 Лебедка.....	7
1.3.2 Кабина. Подвеска .....	10
1.3.3 Ловитель.....	12
1.3.4 Взвешивающее устройство .....	13
1.3.5 Дверь кабины. Привод двери.....	13
1.3.6 Противовес. Направляющие. Ограничитель скорости. Натяжное устройство. Конечный выключатель. Оборудование приямка. Шунты и выключатели. Канаты и цепи.....	14
2 Использование по назначению. Подготовка лифта к работе.....	18
3 Эксплуатация. Техническое обслуживание.....	19
4 Общие указания по монтажу.....	19
4.1 Направляющие кабины и противовеса .....	20
4.2 Лебедка.....	20
5 Расчет элементов шахты.....	23
5.1 Расчет подлебедочных балок .....	23
5.2 Расчет направляющих.....	34
6 Расчет конструкции лебедки методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS .....	42
6.1 Основы метода конечных элементов .....	42
6.2 Расчет конструкции лебедки.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	51

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Бобылев А.О.			
Провер.	Колотов А.В.			
Н. Контр.	Колотов А.В.			
Утвёрд.	Митяев А.Е			

*БР – 15.03.03 ПЗ*

*Расчет элементов шахты  
лифта при монтаже и  
эксплуатации лифтов типа  
ЛП*

Лит.	Лист	Листов
	2	53
<i>ПИ СФУ МТ15-05Б</i>		

## ВВЕДЕНИЕ

Лифт – это разновидность грузоподъемной машины, предназначенная для вертикального или наклонного перемещения грузов и пассажиров на специальных платформах, передвигающихся по жёстким балкам – направляющим, расположенных в шахте лифта.

Лифт стал неотъемлемой частью жизни человека. Практически за одно столетие была создана полностью автоматизированная система внутреннего транспорта пассажиров и грузов в жилых и других зданиях и сооружениях, которая надежно функционирует, не требуя от людей специальных знаний и предварительной подготовки.

В мире успешно функционирует огромное количество лифтов различного конструктивного исполнения, которое обеспечивает нужды коммунального хозяйства, промышленных предприятий и сложных сооружений общественного и специального назначения.

Расширяющиеся потребности общества требуют непрерывного совершенствования средств внутреннего транспорта зданий и сооружений на основе современных научно-технических достижений.

При монтаже, демонтаже и эксплуатации лифта немаловажную роль играют механические свойства его составных частей, а также элементов шахты.

Превышение предельных значений прочности, жесткости или других свойств конструкций может привести к аварийному исходу. Поэтому изготавитель, инженер, а также специалист непосредственно на монтаже лифта должны учитывать множество факторов, обеспечивать элементам шахты и привода лифта максимальный запас прочности при различных режимах нагружения. Все расчеты должны проводиться с максимальной точностью.

Цель данной работы: рассчитать и обеспечить максимальный запас прочности элементов шахты лифта.

В связи с поставленной целью в работе будут решены следующие задачи:

1. Построить 3D модель конструкции лебедки лифта грузоподъемностью 630 кг;
2. Определить возможные перекосы, смещения балок подрамника лебедки относительно друг друга и относительно разметок;
3. Произвести проверочные расчеты балок подрамника при работе лифтового оборудования;
4. Обосновать выбор поперечного сечения балок;
5. Произвести проверочный расчет конструкции лебедки в программном комплексе ANSYS методом конечных элементов.

Для построения моделей будут использованы системы автоматизированного проектирования SolidWorks, КОМПАС-3Д, расчетов и обоснования будут использованы пакеты САПР Ansys, Mathcad и другие.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 1. Описание и работа лифта и его составных частей

### 1.1 Назначение лифта

Лифт предназначен для подъема и спуска людей. В отдельных случаях допускается, в сопровождении пассажира, подъем и спуск грузов, вес и габариты которых вместе не превышают номинальную грузоподъемность лифта и не повреждают оборудование и отделку его кабины.

Лифты не предназначены для работы:

- в зданиях и помещениях, отнесенных к категориям А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности;
- в помещении с агрессивнымиарами или газами, вызывающими коррозию;
- в условиях конденсации влаги в шахте или машинном помещении, выпадения инея или образования льда на оборудовании.

Лифты рассчитаны на установку их на высоте не более 2000 м над уровнем моря. При эксплуатации лифта на высоте над уровнем моря от 1000 до 2000 м число включений в час снижается на 1% на каждые 100 м. Установка лифтов в зданиях и сооружениях, расположенных в районах с интенсивностью сейсмического воздействия 7-8 баллов, допускается с выполнением дополнительных мероприятий.

Назначенный срок эксплуатации, службы лифта 25 лет.

### 1.2 Состав, устройство и работа лифта

Лифт состоит из составных частей, размещенных в шахте и машинном помещении.

Общий вид лифта показан на рисунке 1.1

Машинное помещение и шахту лифта образуют строительные конструкции здания (кирпичная кладка, бетонные блоки и т.д.).

Основными составными частями лифта являются: лебедка 1, кабина 2, противовес 10, направляющие кабины 4 и противовеса 3, двери шахты 9, ограничитель скорости 15, узлы и детали приемника, электрооборудование и электроразводка.

Составные части лифта в строительной части здания размещаются в определенной зависимости относительно друг друга, обеспечивающей их согласованное взаимодействие.

Транспортировка пассажиров и грузов производится в кабине 2, которая перемещается по вертикальным направляющим 4.

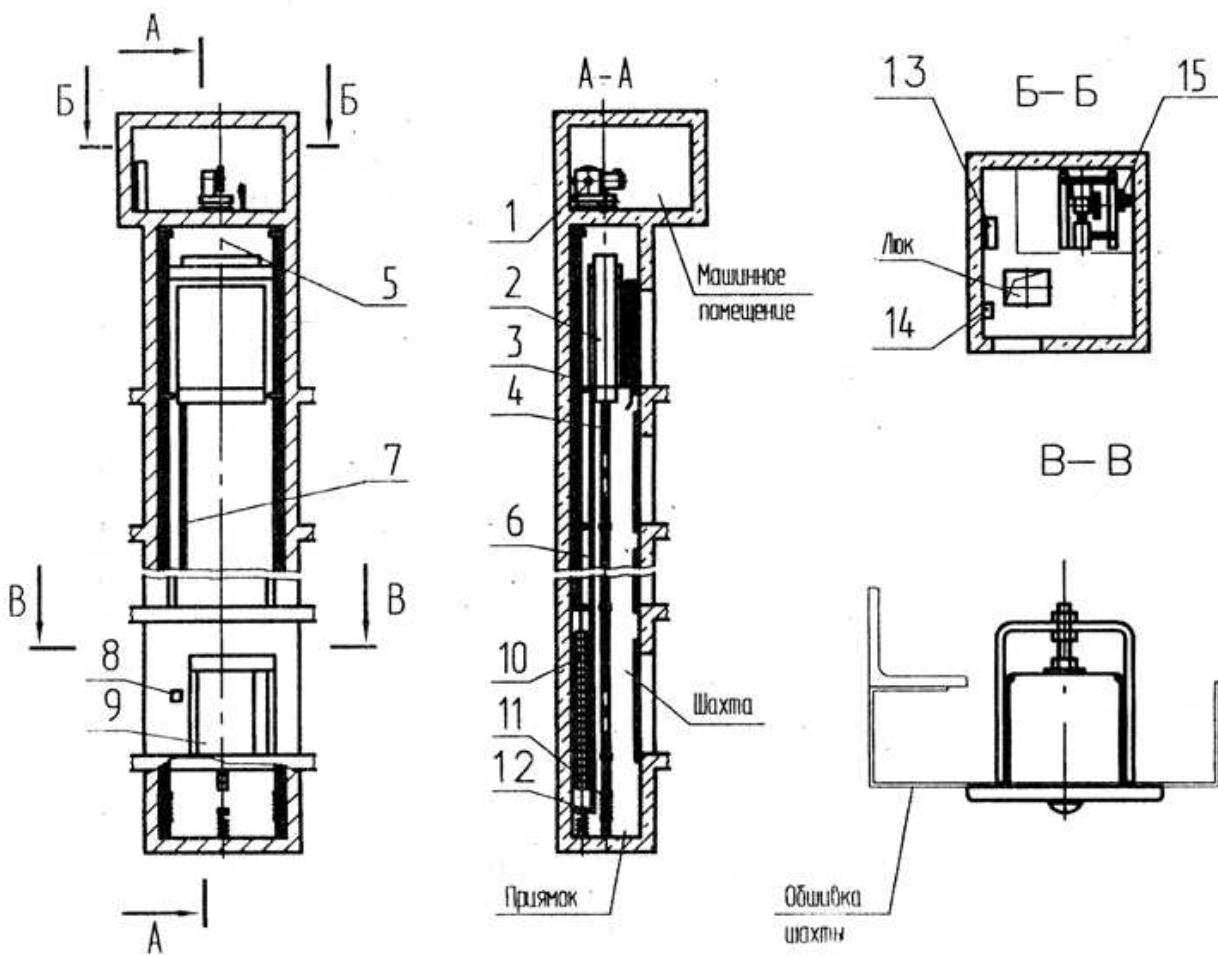
Перемещение кабины 2 и противовеса 10 осуществляется лебедкой 1, установленной в машинном помещении, с помощью тяговых канатов 5. Там же размещены ограничитель скорости 15, устройство управления 13, вводное устройство 14.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В нижней части шахты (приямке) расположено натяжное устройство каната ограничителя скорости, связанное посредством каната 6 с ограничителем скорости 15, а также буферные устройства кабины 11 и противовеса 12.

Для входа в кабину и выхода из нее шахта по высоте имеет ряд проемов, закрытых дверьми шахты 9. Открывание и закрывание дверей производится с помощью привода, установленного в кабине. Двери шахты открываются только тогда, когда кабина находится на данном этаже. В случае отсутствия кабины на этаже открывание двери шахты снаружи возможно только специальным ключом.

Общий вид лифта ЛП-0610БШЭ1, ЛП-0610БШЭ



1- Лебедка; 2- кабина; 3- направляющие противовеса;  
4- направляющие кабины; 5- канат тяговый; 6- канат  
ограничителя скорости; 7- кабель подвесной; 8- аппарат  
вызывной; 9- дверь шахты; 10- противовес; 11,12- буфера;  
13- устройство управления; 14- буферное устройство;  
15- ограничитель скорости.

Техническая характеристика:  
1 Грузоподъемность, кг - 630  
2 Скорость движения, м/с - 1  
3 Наибольшая высота подъема, м - 75  
4 Вместимость кабины, чел. - 8

Рисунок 1.1 – Общий вид лифта

Кинематическая схема лифта показана на рисунке 1.2:

Кинематической схемой лифта называют принципиальную схему взаимодействия подъемного механизма с подвижными частями – кабиной и

противовесом (или схему запасовки канатов лифта). Существуют разнообразные кинематические схемы лифтов. Они отличаются друг от друга расположением машинного помещения, конструкцией канатоведущего органа, типами применяемых лебедок, наличием или отсутствием противовеса, способами подвески кабины и назначением лифта.

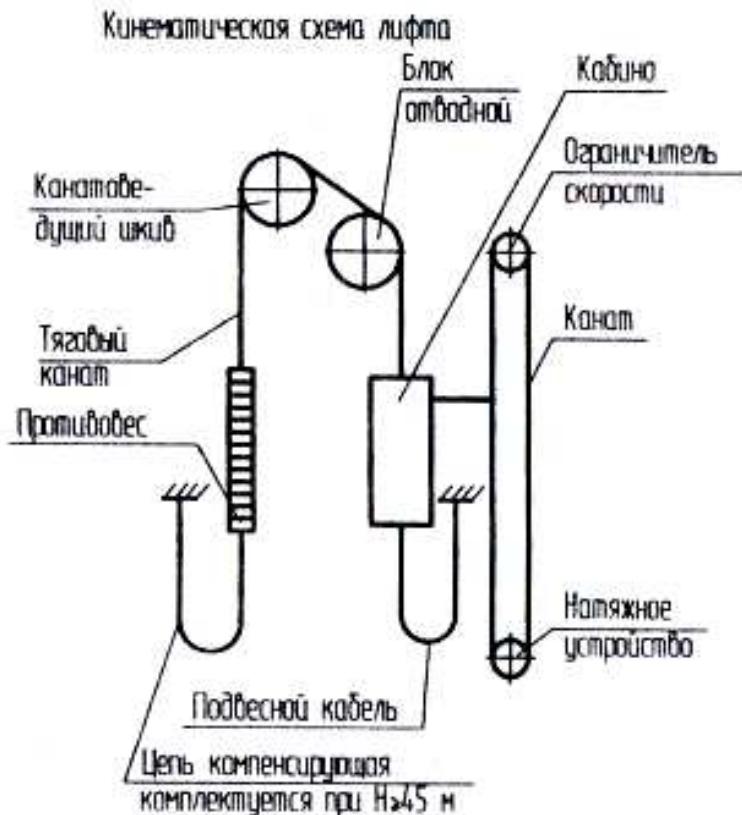


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема лифта

Общий принцип работы лифта следующий:

При нажатии кнопки вызывного аппарата 8 (рисунок 1.1) в устройство управления лифтом подается электрический сигнал (вызов). Если кабина находится на остановке, с которой поступил вызов, открываются двери кабины и шахты на данной остановке. Если кабина отсутствует, то подается команда на ее движение. В обмотку электродвигателя лебедки и в катушку электромагнита тормоза подается напряжение, колодки тормоза разжимаются и ротор электродвигателя начинает вращаться, обеспечивая с помощью редуктора вращение канатоведущего шкива, который за счет сил трения приводит в движение кабину и противовес посредством тяговых канатов.

При подходе кабины к нужному этажу устройство управления лифтом переключает электродвигатель лебедки на работу с пониженной частотой вращения ротора. Скорость движения кабины снижается, и в момент, когда порог пола кабины совместится с уровнем порога двери шахты кабина останавливается, включается в работу привод дверей, двери кабины и двери шахты открываются.

При нажатии на кнопку приказа кнопочного поста, расположенного в кабине, закрываются двери кабины и шахты и кабина отправляется на этаж, кнопка приказа которого нажата.

По прибытии на требуемый этаж и выхода пассажиров двери закрываются, и кабина стоит на остановке до тех пор, пока не будет вновь нажата кнопка любого вызывного аппарата.

### 1.3 Описание и работа составных частей лифта

#### 1.3.1 Лебедка

Лебедка установлена в машинном помещении лифта и предназначена для приведения в движение кабины и противовеса.

Основными составными частями лебедки (рисунок 1.3) являются: редуктор 1, тормоз 2, рама 3, двигатель 4, канатоведущий шкив 5.

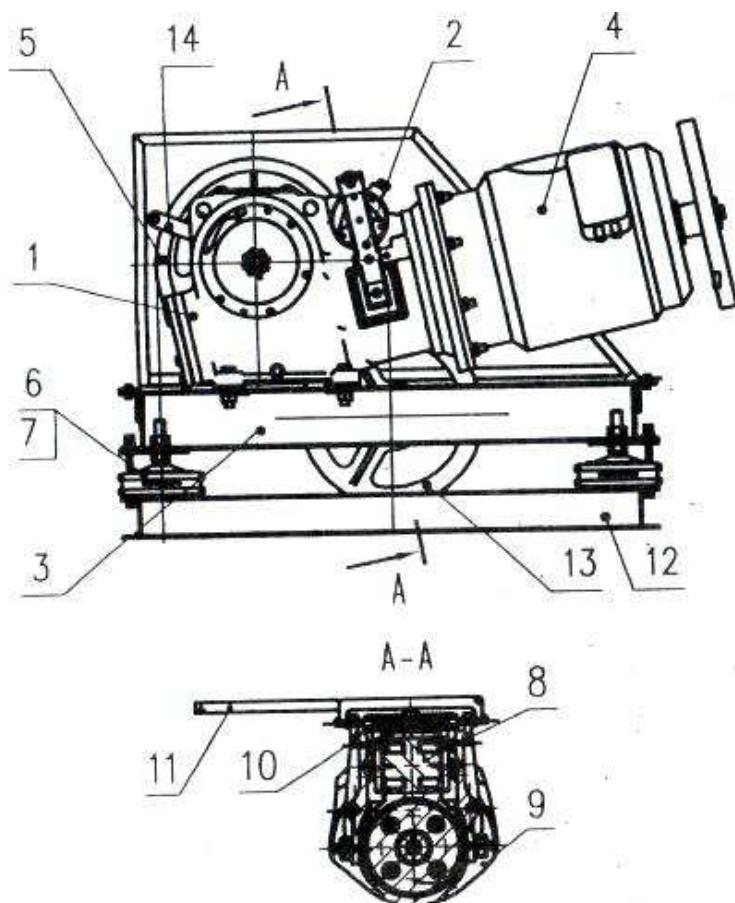


Рисунок 1.3 – Лебедка

Все элементы лебедки смонтированы на раме, которая опирается на перекрытие машинного помещения через амортизаторы 7 и подрамник 12. Также, в качестве подрамника могут использоваться подлебедочные балки.

Редуктор (червячный) предназначен для уменьшения частоты вращения с одновременным увеличением крутящего момента на выходном валу.

Уровень масла контролируется жезловым маслоуказателем. Слив масла производится через отверстие в нижней части корпуса, закрытое пробкой.

Тормоз колодочный, нормально-замкнутого типа предназначен для остановки и удержания в неподвижном состоянии кабины лифта при неработающем двигателе лебедки.

Тормоз состоит из двух электромагнитов 8, рычагов 9 с закрепленными на них фрикционными накладками. Необходимый тормозной момент создается пружинами 10. Для ручного растормаживания служит выдвижная рукоятка 11.

Двигатель асинхронный двухскоростной (односкоростной) с короткозамкнутым ротором крепится к корпусу редуктора с помощью фланцевого соединения. В обмотку статора вмонтированы датчики температурной защиты.

Канатоведущий шкив преобразует вращательное движение в поступательное движение тяговых канатов за счет силы трения, возникающей между канатом и ручьями шкива под действием силы тяжести кабины и противовеса.

Лебедки современных лифтов различаются по конструкции канатоведущих органов и по типам передач от электродвигателей.

По конструкции канатоведущих органов лифтовые лебедки делятся на два основных типа: с канатоведущим шкивом (рисунок 1.4, а) и барабанные (рисунок 1.4, б), а по типам передач — на редукторные и безредукторные, пример которой указан на рисунке 1.5.

У барабанных лебедок канаты, на которых подвешены кабина и противовес, жестко крепятся на барабане так, что при подъеме кабины ее канаты навиваются на барабан, а канаты противовеса сматываются. Барабан лебедки должен иметь нарезанные по винтовой линии канавки полукруглой формы, предназначенные для правильной укладки канатов на барабан и уменьшения удельного давления благодаря большой площади соприкосновения канатов с барабаном.

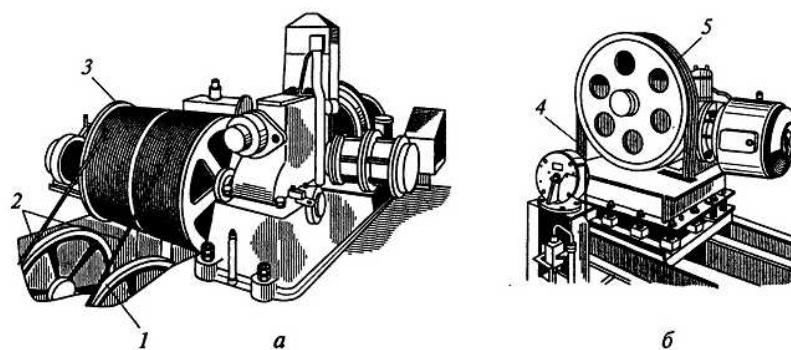


Рисунок 1.4 – Лебедки: а — барабанного типа; б — с канатоведущим шкивом; 1 — отклоняющий блок; 2, 4 — канаты; 3 — барабан; 5 — канатоведущий шкив.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

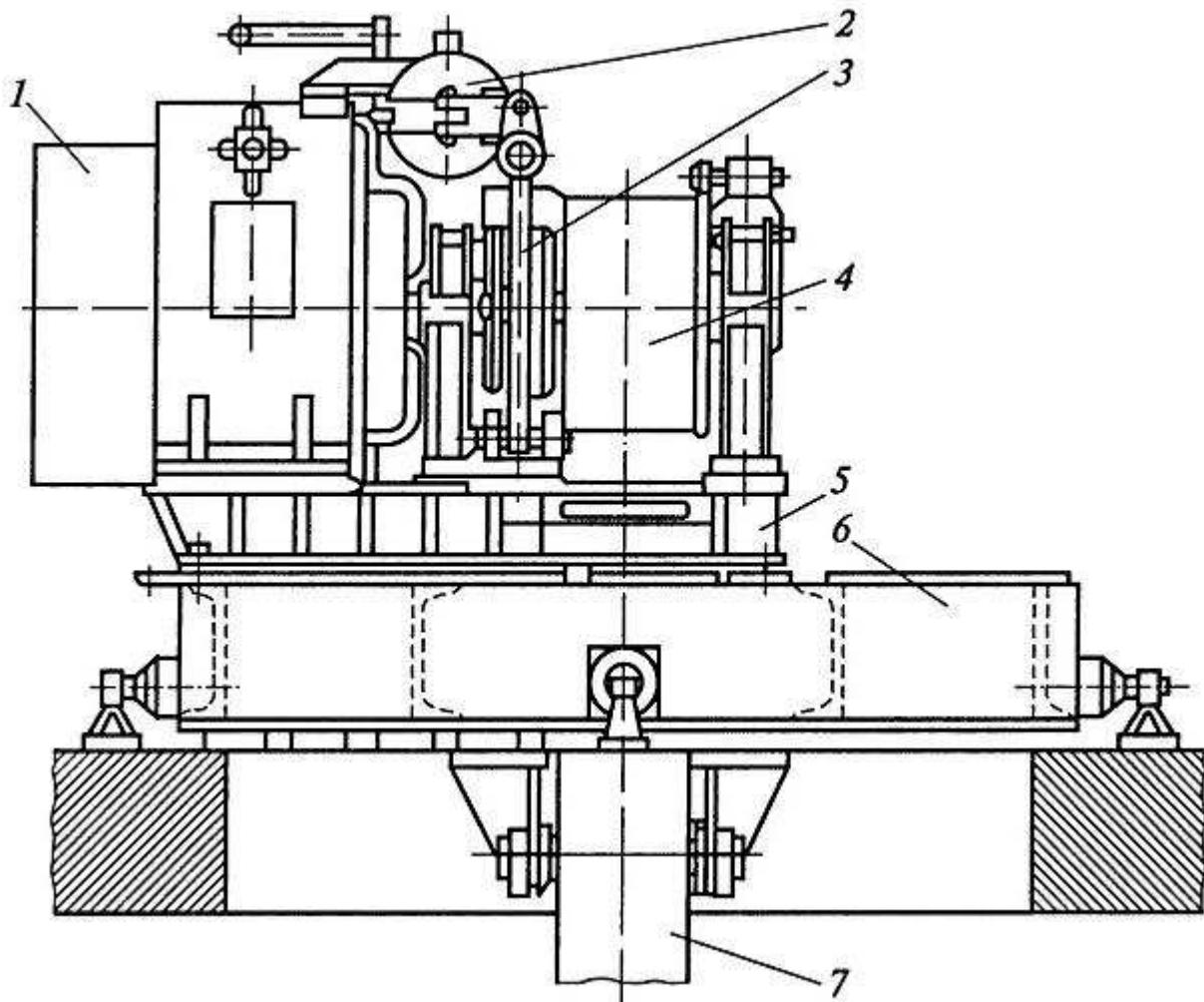


Рисунок 1.5 Безредукторная лебедка с тихоходным электродвигателем постоянного тока:  
1 — электродвигатель; 2 — электромагнит; 3 — тормоз; 4 — канатоведущий шкив; 5 — опора;  
6 — рама; 7 — контргиб

В целях обеспечения безопасности эксплуатации лифта, конструкция лебедки должна быть рассчитана на нагрузки, действующие в эксплуатационных, испытательных и аварийных режимах.

Конструкция лифтовой лебедки должна обеспечивать:

- безопасность применения;
- надежность и безотказность работы;
- бесшумность и низкую вибрацию;
- допустимый уровень ускорений;
- требуемую точность остановки кабины.

В целях снижения трудоемкости технического обслуживания и ремонтных работ конструкция лебедки должна иметь минимальную массу и габариты.

Разнообразие условий применения и широкий диапазон параметров эксплуатационных характеристик лифтов предопределяет и разнообразие конструкций лебедок.

Кинематическая схема лебедки лифта с КВШ приведена на рисунке 1.6:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

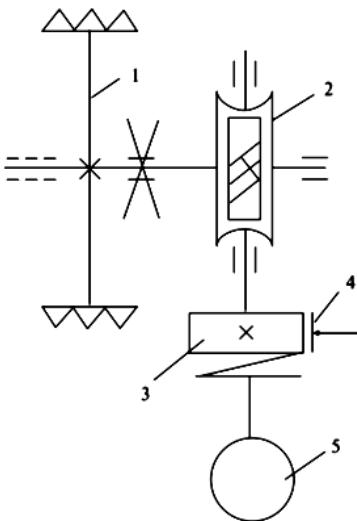


Рисунок 1.6 – Кинематическая схема лифтовой лебедки с КВШ и червячным редуктором:  
1 – КВШ; 2 – редуктор червячный; 3 – соединительная муфта с тормозным шкивом; 4 – колодочный тормоз; 5 – электродвигатель.

### 1.3.2 Кабина. Подвеска

Кабина лифта подвешена на тяговых канатах в шахте и предназначена для перевозки пассажиров.

Кабина лифта (рисунок 1.7) состоит из верхней балки 1, потолка 2, пола 3, створок дверей кабины 4, привода дверей 5 и балки нижней 6.

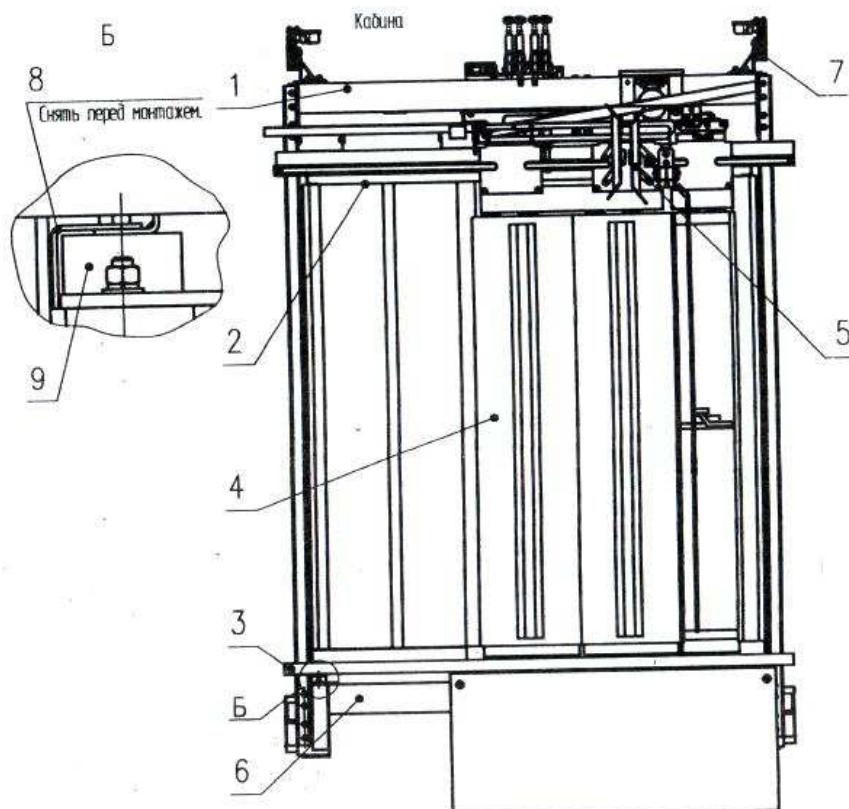


Рисунок 1.7 - Кабина

На балках установлены ловители, подвеска кабины, башмаки, пост кнопочный ревизии.

Потолок является верхней частью кабины. На потолке размещаются светильники. Естественная вентиляция обеспечивается через вентиляционные отверстия в кабине.

Подвеска (рисунок 1.8) предназначена для крепления канатов к кабине.

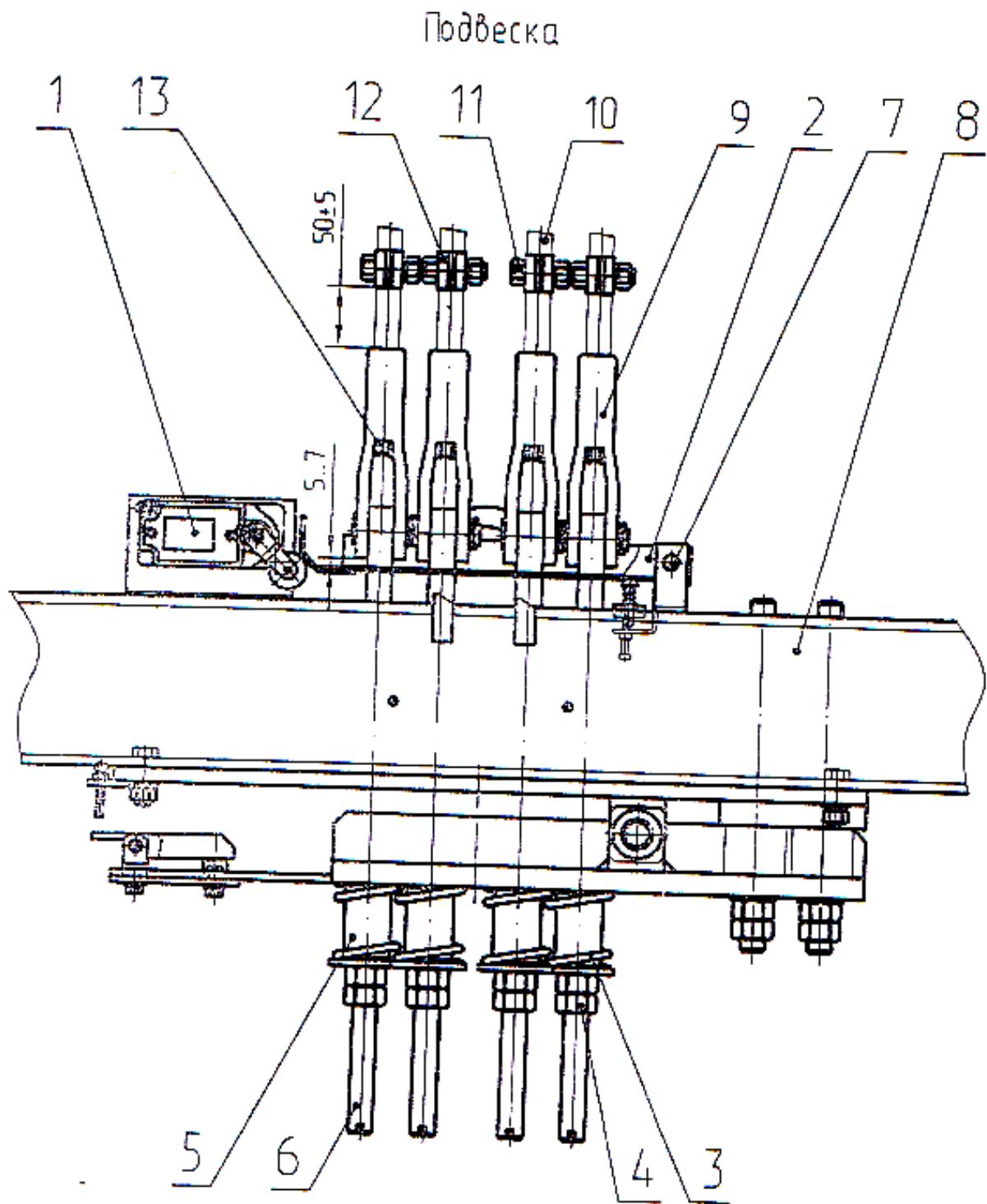


Рисунок 1.8 – Подвеска

Каждый канат 11 при помощи клина 14 и клиновой обоймы 9 соединен с тягой 6. В случае вытяжки или обрыва любого количества канатов пружина 3 через тягу 6, поворачивая лыжу устройства контроля слабины канатов (СПК) 2, размыкает контакт выключателя 1 СПК. Кабина останавливается.

### 1.3.3 Ловитель

Ловитель клиновой плавного торможения (рисунок 1.9) предназначен для остановки и удержания кабины на направляющих при превышении скорости движения кабины вниз относительно номинальной до определенных пределов. Он рассчитан на совместную работу с ограничителем скорости.

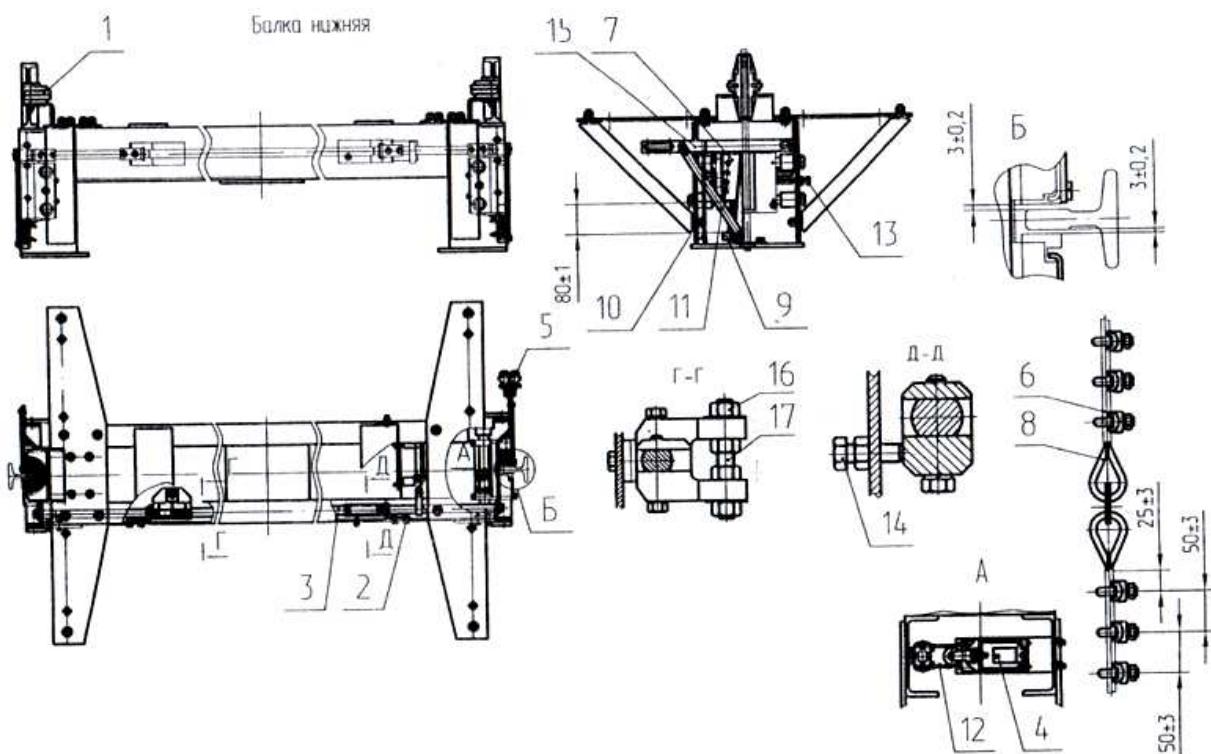


Рисунок 1.9 – Ловитель: 1 – башмак скользящий; 2 – кронштейн; 3 – труба; 4 – микровыключатель; 5,15 – рычаг каната; 6 – канат; 7 – колодка; 8 – коуш; 9 – клин; 10 – пружина; 11 – рычаг 1; 12 – рычаг 2; 13, 14 – болт; 16 – гайка; 17 – шпилька.

При срабатывании ограничителя скорости прекращается движение каната 6, закрепленного к рычагу 5 механизма включения ловителя. При дальнейшем движении кабины рычаг 5 поворачивается, при этом рычаг 11 поднимает клин 9, установленный в колодке 7. Одновременно посредством рычага 5 поворачивается труба 3 и рычаги поднимают другую пару клиньев. При этом выбирается установочный зазор  $3\pm0,2$ мм между клиньями ловителей и рабочими поверхностями направляющих с одной стороны, затем ловители перемещаются горизонтально по осям ( $\varnothing25$ мм) выбирая установочный зазор

$3 \pm 0,2$  мм с противоположной стороны направляющих. Дальнейшее перемещение клина вверх приводит к деформации упругих элементов ловителей создавая определенное усилие торможения, зажимая головку направляющих, кабина останавливается ловителями. Рычаг 12 на трубе 3 нажимает на ролик выключателя 4, контакты которого размыкаются и подают импульс на отключение электродвигателя лебедки раньше, чем произойдет касание клиньями направляющих.

Для снятия кабины с ловителей необходимо поднять ее верх с помощью штурвала лебедки или в режиме «МП2» - в соответствии с руководством по эксплуатации электропривода и автоматики, и вернуть ролик выключателя ловителей в исходное положение.

### 1.3.4 Взвешивающее устройство

Лифт комплектуется (по заказу) механическим или электронным взвешивающим устройством. Взвешивающее устройство предназначено для контроля степени загрузки кабины и обеспечения попутных вызовов. При этом контролируется величина груза 50% (для лифтов с режимом эвакуации), 90% и 110% номинальной грузоподъемности лифта. Электронное взвешивающее устройство дополнительно контролирует наличие груза в кабине – 20 кг. При загрузке кабины на 90% от номинальной грузоподъемности автоматически исключаются остановки по попутным вызовам.

### 1.3.5 Дверь кабины. Привод двери

Автоматическая дверь кабины комплектуется (по заказу) нерегулируемым, регулируемым или регулируемым с приводным плоскозубчатым ремнем приводом дверей кабины. Положение створок (открыто, закрыто) контролируется электрическим выключателем. При случайном зажатии пассажира створками осуществляется реверсирование привода. Нерегулируемый привод дверей кабины показан на рисунке 1.10.

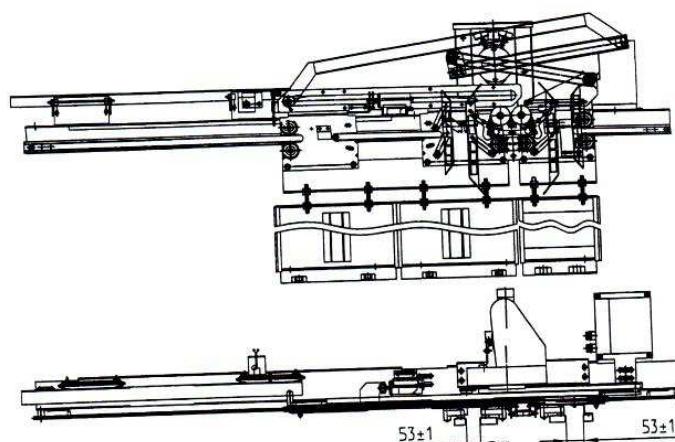


Рисунок 1.10 – Нерегулируемый привод дверей кабины

1.3.6 Противовес. Направляющие. Ограничитель скорости. Натяжное устройство. Конечный выключатель. Оборудование приемника. Шунты и выключатели. Канаты и цепи

Противовес предназначен для уравновешивания веса кабины и половины номинальной грузоподъемности. Противовес размещается в шахте лифта и с помощью подвески подвешен на тяговых канатах.

Противовес состоит из каркаса, в которых уложены грузы.

Каркас состоит из верхней и нижней балок и стойков. В средней части каркас скреплен стяжкой. На верхней и нижней балках установлены башмаки.

Башмаки предназначены для стабилизации положения кабины в шахте.

Башмаки установлены на кабине и закреплены попарно на верхней и нижней балке.

Башмак (рисунок 1.11) состоит из основания 5, полукольца 3 и двух головок 2, в которых устанавливается вкладыш 1. Головки крепятся к основанию с помощью болтов 4.

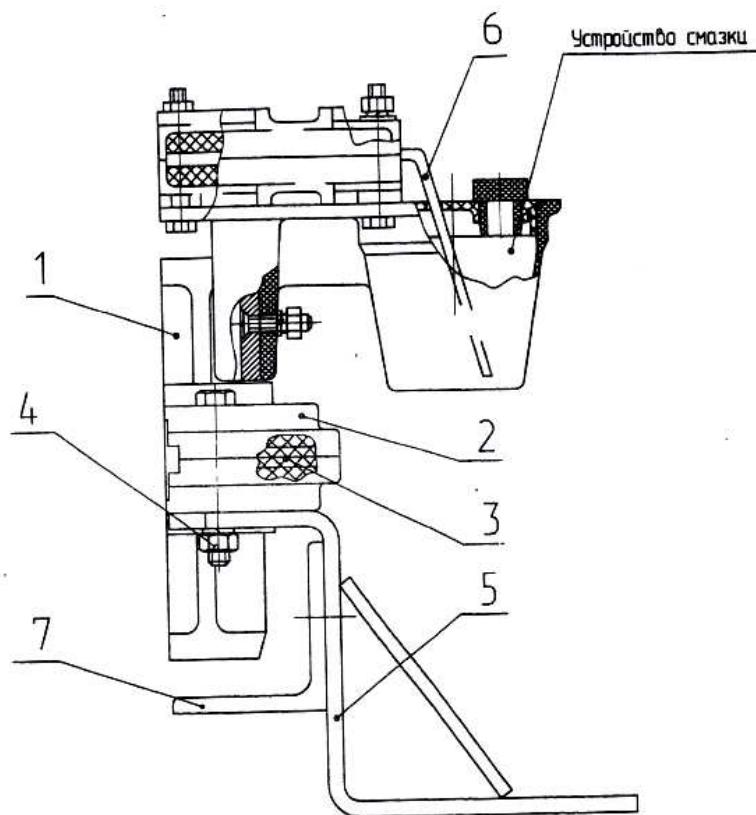


Рисунок 1.11 - Башмак

Полукольцо 3 выполняет функцию амортизатора, поглощающего толчки при движении кабины по направляющим.

На башмаках верхней балки кабины установлено устройство для смазки направляющих.

Направляющие установлены в шахте лифта на всем пути движения кабины и противовеса и закреплены к строительной части шахты. Направляющие исключают разворот кабины и противовеса вокруг вертикальных осей, а также раскачивание кабины и противовеса в движении. Кроме этого, направляющие кабины воспринимают нагрузку при посадке кабины на ловители.

Направляющие кабины изготовлены из специального Т-образного в сечении профиля. Направляющие противовеса изготовлены из углового проката. Для лифтов, предназначенных для работы в районах с сейсмичностью от 7 до 9 баллов, направляющие противовеса выполняются из Т-образного профиля.

На одной из направляющих кабины установлено натяжное устройство каната ограничителя скорости.

Шунты и выключатели (рисунок 1.12) установлены как на кабине, так и в шахте лифта на разных отметках по высоте. Они предназначены для обеспечения автоматической работы лифта. При взаимодействии шунта с выключателем в схему управления лифтом выдается команда на изменение скорости движения кабины, либо на ее остановку.

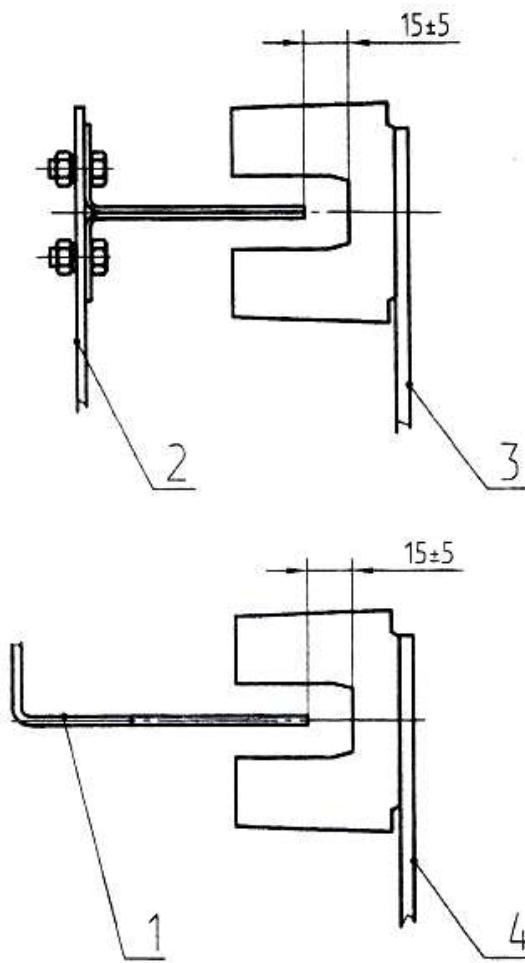


Рисунок 1.12 – Взаимодействие шунта и выключателя

Устройство ограничителя скорости показано рисунке 1.13:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

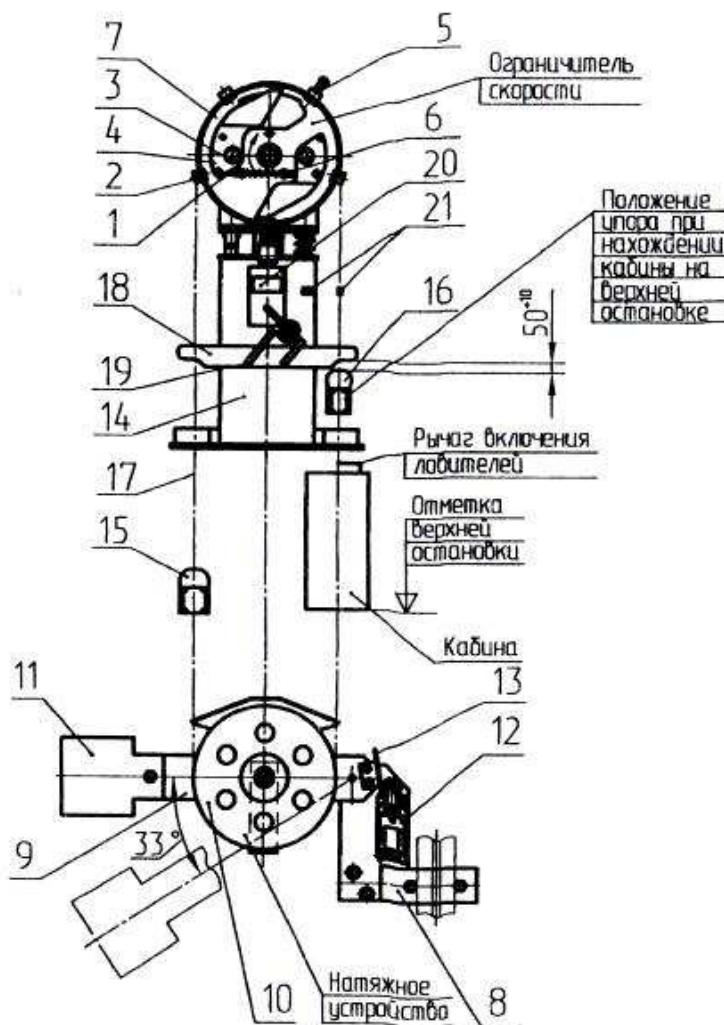


Рисунок 1.13 – Ограничитель скорости

Натяжное устройство каната ограничителя скорости (рисунок 1.13) состоит из кронштейна 8, на котором на пальце шарнирно установлен рычаг 9 с блоком 10 и грузом 11. Блок подвешен на петле каната ограничителя скорости. Груз служит для натяжения каната. Угол наклона рычага 9 контролируется выключателем 12.

При отклонении рычага 9 на угол более 33 градусов отводка 13 воздействует на выключатель 12, разрывающий цепь управления лифтом.

На оси 3 шкива шарнирно закреплены два груза 4. При движении шкива центробежные силы, возникающие в грузах, стремятся развести их концы. При номинальных оборотах шкива действие центробежных сил уравновешивается усилием пружины 6, установленной на тяге 1, соединяющей грузы. Если скорость движения кабины вниз превышает номинальную не менее чем на 15% и составляет не более чем 1,5 м/с, центробежные силы преодолевают сопротивление пружины, концы грузов расходятся и входят в зацепление с упорами 2 корпуса 7. Вращение шкива прекращается и одновременно прекращает движение канат ограничителя скорости, и при продолжающемся движении кабины вниз, канат включает ловители.

Для проверки тяговой способности ручья рабочего шкива необходимо остановить шкив при нормальной скорости движения кабины нажатием подвижного упора 5.

При укладке каната в ручей малого (проверочного) шкива на ограничителе имитируется прирост скорости примерно на 40%. Это дает возможность проверить работу ограничителя скорости и ловителей при номинальной скорости движения кабины.

Конечный выключатель (рисунок 1.13) предназначен для отключения лифта в случае перехода кабиной крайних положений, ограниченных уровнем верхнего и нижнего этажей.

Конечный выключатель 20 установлен на подставке 14 и приводится в действие с помощью двух зажимов 15 и 16, закрепленных на канате ограничителя скорости. При переходе кабиной крайних положений зажимы поворачивают рычаг 18, который скобой 19 воздействует на выключатель, что вызывает остановку кабины.

Приямок находится ниже уровня отметки нижней остановки. В нем расположены буфера кабины и противовеса (рисунок 1.14):

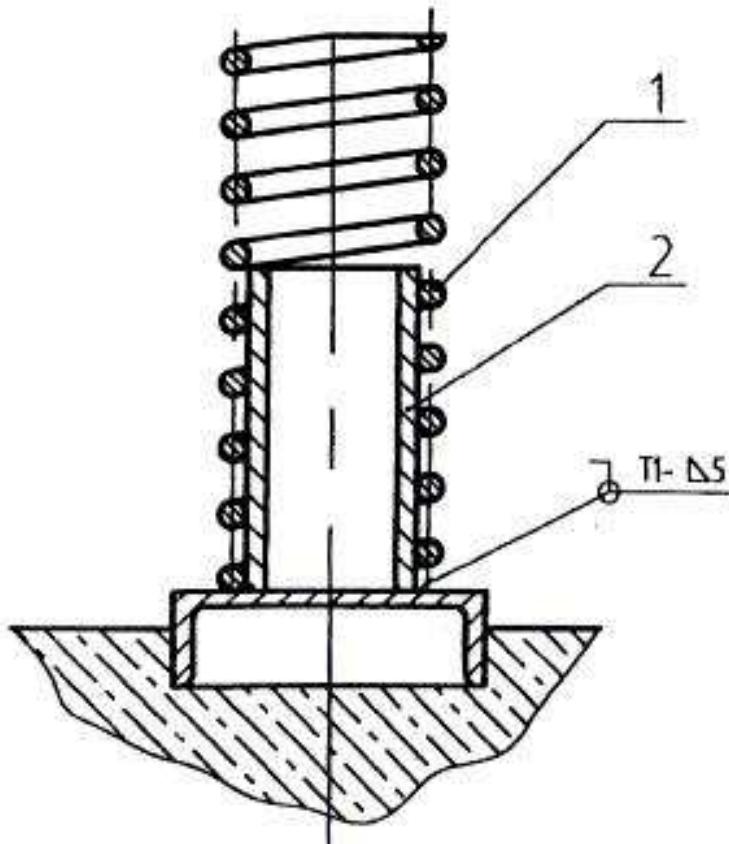
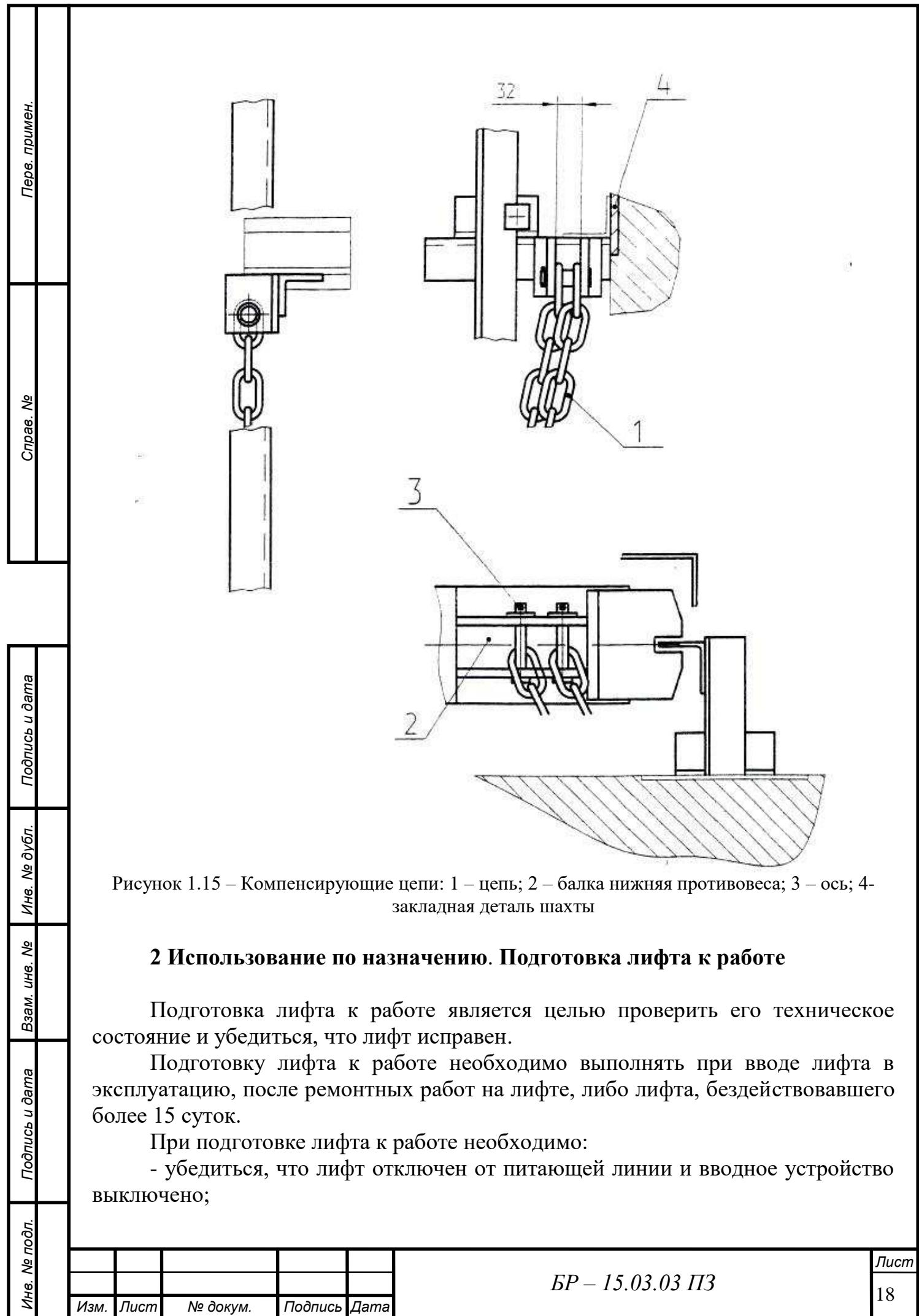


Рисунок 1.14 – Буфер: 1 – пружина буфера; 2 – стакан.

Компенсирующие цепи предназначены для компенсации веса тяговых канатов при высоте подъема выше 45м (рисунок 1.15).



- осмотреть размещенное в машинном помещении оборудование – лебедка и ее составные части, ограничитель скорости и электрооборудование не должны иметь механических повреждений, оборудование должно быть закреплено – болты и винты затянуты, сварные швы не должны иметь разрушений;
- проверить уровень масла в редукторе лебедки – уровень должен быть между рисками по маслоуказателю;
- проверить отсутствие течи масла из редуктора лебедки;
- при движении кабины лебедка не должна издавать резкого шума, скрежета и т.д.
- кабина и аппараты управления лифтом не должны иметь механических повреждений и поломок.

К использованию по прямому назначению допускается только исправный и прошедший техническое освидетельствование лифт.

### **3 Эксплуатация. Техническое обслуживание**

При эксплуатации лифта должна выполняться работа по техническому обслуживанию и осмотру лифта в соответствии с требованиями производственных должностных инструкций, утвержденных в установленном порядке и настоящего руководства.

В процессе эксплуатации на лифте должны выполняться следующие плановые работы:

- ежесменные осмотры;
- техническое обслуживание:
  - 1) ежемесячное;
  - 2) ежеквартальное;
  - 3) ежегодное.
- средний и капитальный ремонт.

Работы по техническому осмотру и обслуживанию лифта должны производиться при строгом соблюдении мер безопасности, изложенных в документах, приведенных в производственных инструкциях обслуживающего персонала и инструкциях по технике безопасности, действующих в организации, эксплуатирующей лифт.

Техническое обслуживание лифта должны проводить электромеханики (не менее двух человек) или электромеханик с лифтером.

Перед проведением технического обслуживания электромеханику необходимо ознакомиться с записями в журнале приема-сдачи смен, отражающими состояние лифта, а также подготовить к проведению работ необходимый инструмент для выполнения соответствующих работ, принадлежности, материалы и документацию.

### **4 Общие указания по монтажу**

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 4.1 Направляющие кабины и противовеса

Монтаж направляющих кабины и противовеса выполняются согласно размерам, приведенным в сборочном чертеже и монтажном чертеже. При этом должны соблюдаться следующие требования:

- отклонение от вертикали каждой «нитки» направляющих должно быть не более 1 мм при высоте подъема до 50 м и не более 10 мм при высоте выше 50 м;
- смещение кромок рабочих поверхностей направляющих в месте стыка не допускается и устраняется зачисткой выступов на длине не менее 100 мм; перепад торцов направляющих в месте стыка выше 0,3 мм устраняется установкой соответствующих прокладок;
- боковые рабочие поверхности противоположных направляющих должны находиться в одной вертикальной плоскости, отклонение не должно превышать 0,5 мм на высоту боковой рабочей части направляющей.

## 4.2 Лебедка

Монтаж лебедки и отводных блоков, устанавливаемых на подлебедочных балках, производят следующим образом:

1) в шахте лифта на расстоянии 700-800 мм от ее перекрытия между направляющими кабины и противовеса закрепить осевые струны. На струны краской или изолентой нанести центры осей направляющих кабины и противовеса и отметки для выверки лебедки и отводных блоков. При установке лифтовой лебедки и полиспастной подвески, отметки на струну между направляющими кабины наносят в зависимости от диаметра канатоведущего шкива и блоков на кабине и противовесе;

2) установить подлебедочные балки на тумбы или в ниши стен машинного помещения согласно установочному чертежу (профиль и размеры балок указываются в монтажном чертеже), как показано на рисунке 4.1:

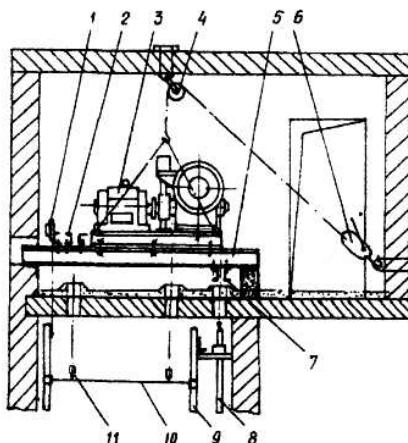


Рисунок 4.1 – Установка лебедки на подлебедочных балках: 1 – ограничитель скорости; 2 – балансирная подвеска; 3 – лебедка; 4 – блок; 5 – подлебедочная балка; 6 – рычажная лебедка; 7 – жесткая подвеска; 8, 9 – направляющие противовеса и кабины; 10 – струна; 11 – отвес.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3) после установки подлебедочных балок в проектное положение под лебедку и отводной блок разметить и просверлить в них отверстия согласно схеме разбивки отверстий по установочному чертежу;

4) выверить подлебедочные балки по уровню и временно раскрепить их;

5) установить под подлебедочные балки отводной блок и прикрепить его к балкам болтами;

6) установить раму с приводом лифта на подлебедочные балки с помощью крана или рычажной лебедки. Прикрепить раму к подлебедочным балкам болтами;

7) выверить установку отводного блока относительно канатоведущего шкива с помощью натянутой струны. Торцевые плоскости шкива и отводного блока должны быть в одной плоскости. Допустимое отклонение не более 1 мм на диаметре шкива и блока;

8) произвести контрольную выверку лебедки по отвесам, спущенным с середин шкива и отводного блока до пересечения со струнами, натянутыми в шахте по осям направляющих кабины и противовеса, как указано на рисунке 4.2:

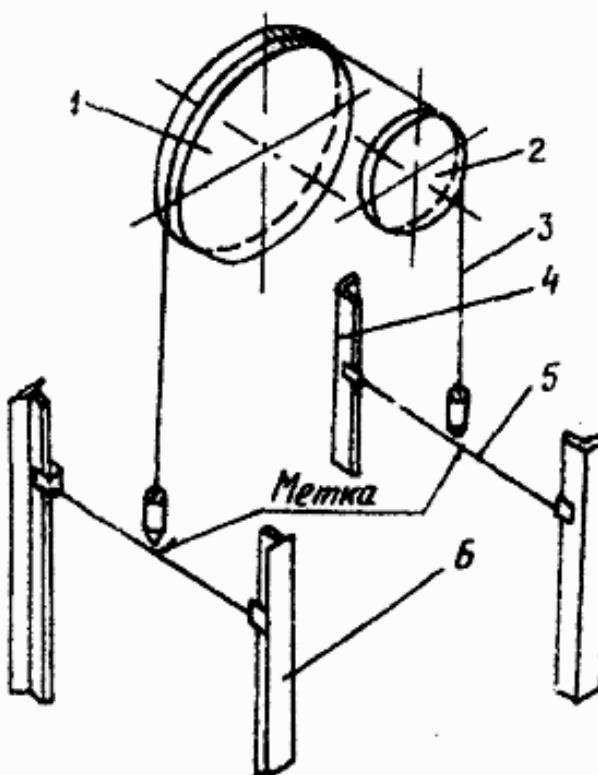


Рисунок 4.2 – Выверка установки лебедки по отвесам:

1 – канатоведущий шкив лебедки; 2 – отводной блок; 3 – отвес; 4 – направляющая противовеса; 5 – струна; 6 – направляющая кабины

Лебедка должна быть установлена так, чтобы середина шкива и отводного блока совпадала с метками на струнах. Допустимое отклонение центров подвесок кабины и противовеса от середины образующих шкива и отводного блока не более 5 мм.

При полипастной подвеске кабины и противовеса по отвесам, спущенным со шкива до пересечения со струнами в шахте, проверяется правильность установки шкива относительно блоков кабины и противовеса по меткам на струнах.

9) выверить лифтовую лебедку по шкиву, для чего с верхней кромки торцевой плоскости канатоведущего шкива опустить отвес на небольшом расстоянии от шкива. При правильной установке лебедки расстояния между шкивом и отвесом вверху и внизу должны быть равны. Допустимое отклонение – не более 1 мм на диаметре шкива. После контрольной выверки лебедка проверить раму лебедки по уровню. Отклонение рамы от горизонтальной плоскости не должно превышать 2 мм на длине рамы. Регулировку производить болтами амортизаторов. Установка лебедки указана на рисунке 4.3:

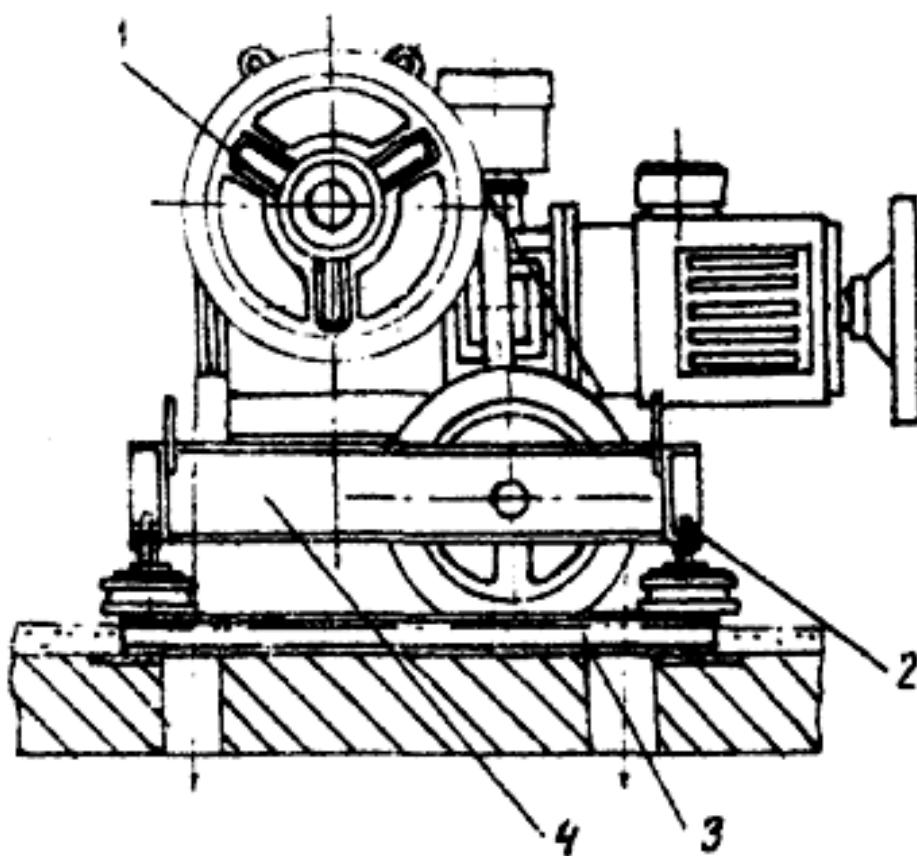


Рисунок 4.3 – Установка лебедки:

1 – лебедка; 2 – регулировочный болт; 3 – подрамник; 4 – рама лебедки

10) после выверки лебедки и отводных блоков приварить подлебедочные балки к металлическим пластинам, заделанным на торцах ниш и тумб. После обварки балок ниши передать строителям под заливку бетоном.

Так же допускается заделка подлебедочных балок анкерными болтами в перекрытие шахты с обоих концов или бетонированием балки по всей длине.

Вид машинного помещения указан на рисунке 4.4:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 4.4 – Машинное помещение

## 5 Расчет элементов шахты

### 5.1 Расчет подлебедочных балок

Рассчитаем подлебедочные балки под установку лебедки грузоподъемностью 630 кг и номинальной скорости движения лифта 1 м/с.

Основные данные и характеристики лебедки указаны в таблице 5.1:

Таблица 5.1 – Основные данные и характеристики лебедки

Характеристика	Значение
Грузоподъемность, кг	630
Номинальная скорость движения лифта, м/с	1
Редуктор	Межосевое расстояние, мм
	143
	Передаточное число
	43
Максимальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	1375
	31400
Максимальная консольная нагрузка на выходном валу, Н	

Окончание таблицы 5.1

Характеристика		Значение
Тормоз	Тип	Колодочный
	Диаметр тормозного шкива (полумуфты), мм	200
	Максимальный ход якорей магнита, мм	до 1,5
	Тормозной момент, Н·м	55...65
Диаметр КВШ, мм		550
Диаметр отводного блока по дну ручья, мм		490
Диаметр тяговых канатов, мм (количество)		12 (4)
Уровень звуковой мощности при установившемся режиме, дБА		не более 73
Вес, кг	без рамы	380
	с рамой	680

Общий вид конструкции указан на рисунке 5.1:

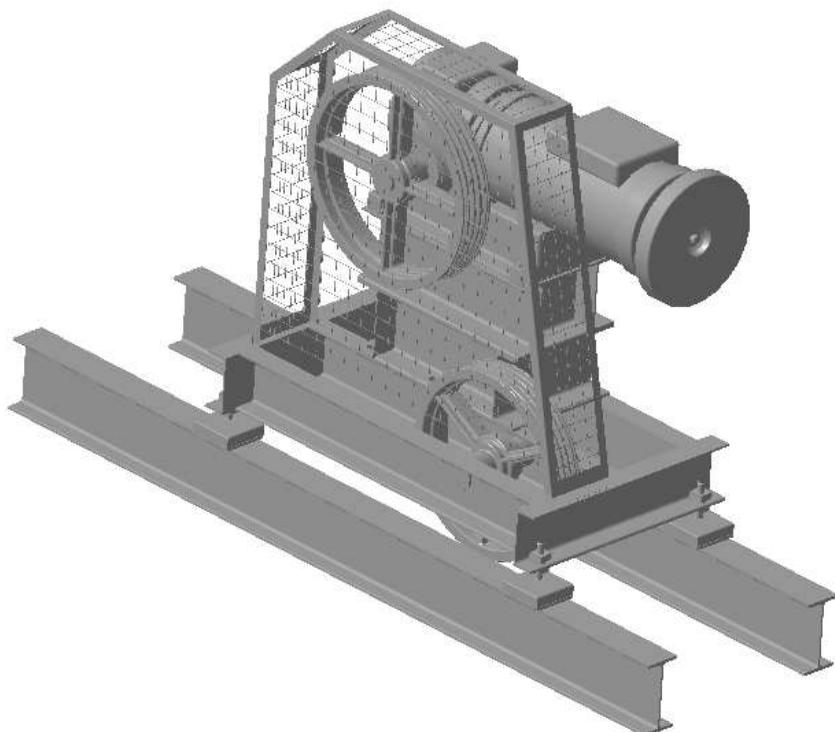


Рисунок 5.1 – Конструкция лебедки (вид 1)

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.03 ПЗ

Лист

24

Материал балок – конструкционная углеродистая сталь обыкновенного качества Ст3. Такая сталь является стандартным выбором для изготовления несущих и ненесущих элементов для сварных и несварных конструкций, а также деталей, работающих при положительных температурах.

Сплав Ст3 содержит: углерода - 0,14-0,22%, кремния - 0,05-0,17%, марганца - 0,4-0,65%, никеля, меди, хрома - до 0,3% , мышьяка до 0,08%, серы и фосфора - до 0,05 и 0,04% соответственно.

Твердость материала: НВ - от 130 до 140 МПа, свариваемость без ограничений, нефлокеночувствительна, не склонна к отпускной хрупкости.

Механические свойства проката должны соответствовать нормам по ГОСТ 535-2005, которые указаны в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Механические свойства проката из стали Ст3 по ГОСТ 535-2005

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_v$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ), для проката толщин, мм		Предел текучести $\sigma_t$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ), для проката толщин, мм			Относительное удлинение $\delta_5$ , %, для проката толщин, мм		Изгиб до параллельности сторон ( $a$ – толщина образца, $d$ – диаметр оправки, для проката толщин, мм)	
	до 10 включ.	св. 10	до 10 включ.	св. 10 до 20 включ.	св. 20 до 40 включ.	до 20 включ.	св. 20 до 40 включ.	до 20 включ.	св. 20
Ст3сп (Ст3)	380-490 (39-50)	370-480 (38-49)	255 (26)	245 (25)	235 (24)	26	25	$d=a$	$d=2a$

Выберем балки с сечениями в виде двутавра 20 по ГОСТ 8239-89. Длина балок  $l = 2300$  мм.

Характеристики предполагаемого сечения указаны в таблице 5.3:

Таблица 5.3 – Характеристики сечения

Характеристика	Значение
Масса 1 м.п., кг	21
Момент инерции $J_x$ , см <sup>4</sup>	1840
Момент сопротивления $W_x$ , см <sup>3</sup>	184
Статический момент полусечения $S_x$ , см <sup>3</sup>	104
Марка стали	C245 (Ст3)

Окончание таблицы 5.3

Характеристика	Значение
Расчетное сопротивление стали $R_y$ , МПа	240
Расчетное сопротивление стали сдвигу, $R_s$ , МПа	139,2
Коэффициент условий работы $\gamma_c$	0,8
Относительный прогиб	1/250 пролета
Модуль упругости $E$ , МПа	206000

1. Расчет балки при максимальной статической нагрузке из условия прочности болтов крепления на растяжение/сжатие

Схема креплений указана на рисунке 5.2:

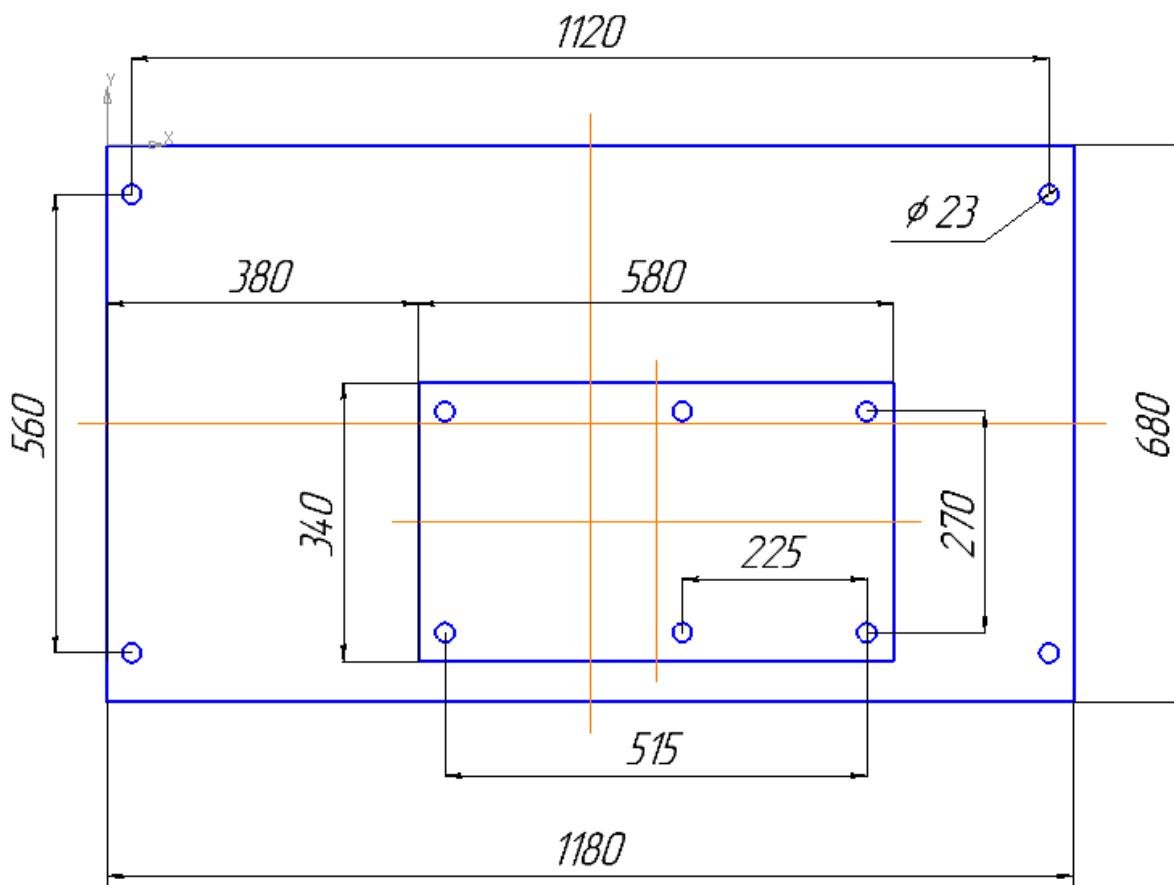


Рисунок 5.2 – Схема креплений

Выбранные болты для крепления рамы лебедки к подлебедочным балкам – M20 – 4gx100 по ГОСТ 7808-70.

Характеристики указаны в таблице 5.4:

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Таблица 5.4 – Характеристики болтов

Характеристика		Значение
Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм		20
Длина $l$ , мм		100
Количество, шт		4
Класс прочности		8.8
Марка стали	болт	35
	гайка	35
Предел выносливости $\sigma_b$ , МПа		800
Предел текучести $\sigma_t$ , МПа		640

Условие прочности болта при растяжении/сжатии имеет вид:

$$\sigma = \frac{1,3 \cdot 4 \cdot P_{\max}}{\pi d^2} \leq [\sigma]_p, \quad (5.1)$$

где  $[\sigma]_p = \frac{\sigma_t}{3}$  - допускаемое напряжение растяжения болта;

$P_{\max}$  - максимальная сжимающая нагрузка, Н.

Тогда, максимальная нагрузка, выдерживаемая болтом:

$$P_{\max} = \frac{\pi d^2}{1,3 \cdot 4} [\sigma]_p, \quad (5.2)$$

Подставив известные значения в формулу 5.2, получим:

$$P_{\max} = \frac{\pi \cdot 20^2}{1,3 \cdot 4} 213,3 = 51521 \text{ Н} = 51,521 \text{ кН}.$$

Расчетная схема балки представлена на рисунке 5.3:

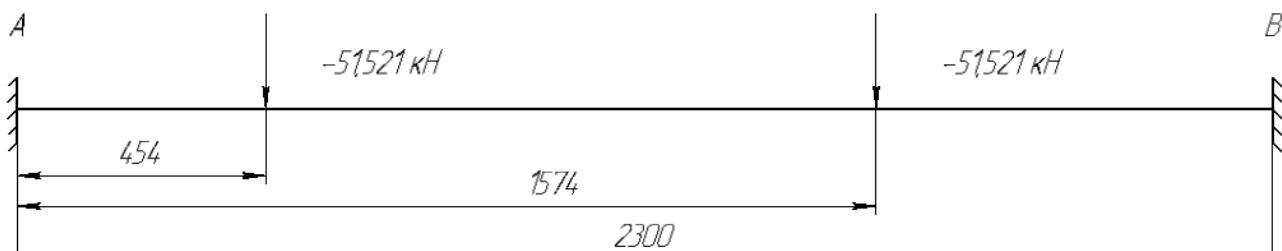


Рисунок 5.3 – Расчетная схема балки

Раскроем статическую неопределенность балки и найдем реакции опор.

$$R_A = 58449,45 \text{ H} = 58,45 \text{ кН};$$

$$M_A = -23147192,79 \text{ H} \cdot \text{мм} = -23,15 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$R_B = 44590,55 \text{ H} = 44,6 \text{ кН};$$

$$M_B = 21222906,41 \text{ H} \cdot \text{мм} = 21,22 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Составим уравнения поперечных сил и изгибающих моментов на участках балки, используя метод сечений:

На участке  $AB$  ( $0 \leq z_1 \leq 0,454 \text{ м}$ ):

$$Q(z_1) = +R_A = 58,45 \text{ кН};$$

$$M(z_1) = -M_A + R_A \cdot z = -23,15 + 58,45 \cdot z;$$

$$M(0) = -23,148 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M(0,24) = 3,389 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

На участке  $BC$  ( $0,454 \leq z_2 \leq 1,574 \text{ м}$ ):

$$Q(z_2) = +R_A - Q = +58,45 - 51,521 = 6,93 \text{ кН};$$

$$M(z_2) = -M_A + R_A \cdot z - Q \cdot (z - 0,454) = -23,15 + 58,45 \cdot z - 51,521 \cdot (z - 0,454);$$

$$M(0,454) = 3,389 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M(1,574) = 11,15 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

На участке  $CD$  ( $1,574 \leq z_3 \leq 2,3 \text{ м}$ ):

$$Q(z_3) = +R_A - Q - Q = +58,45 - 51,521 - 51,521 = -44,591 \text{ кН};$$

$$M(z_3) = -M_A + R_A \cdot z - Q \cdot (z - 0,454) -$$

$$-Q \cdot (z - 1,574) = -23,15 + 58,45 \cdot z - 51,521 \cdot (z - 0,454) - 51,521 \cdot (z - 1,574);$$

$$M(1,574) = 11,15 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M(2,3) = -21,223 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

По полученным значениям строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

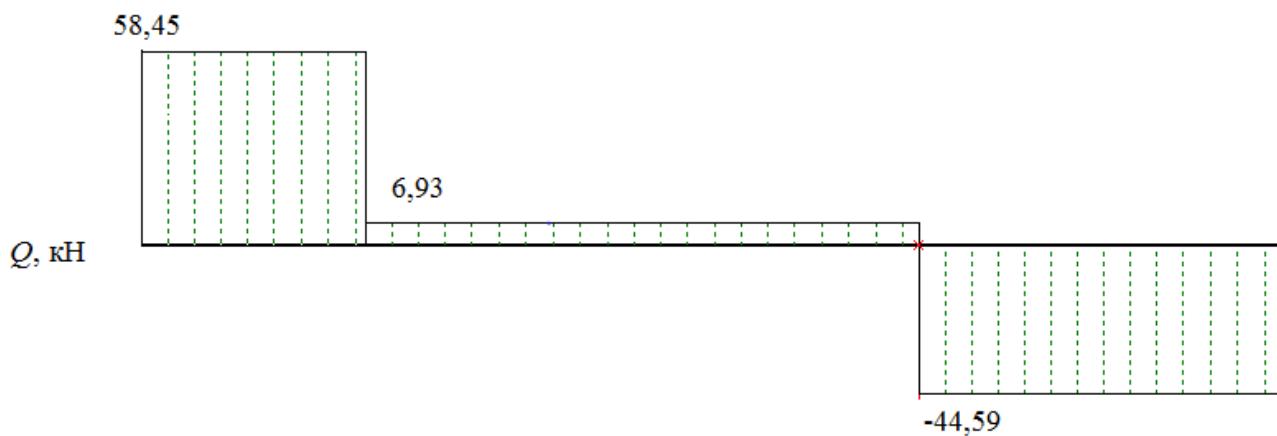


Рисунок 5.4 – Эпюра поперечных сил

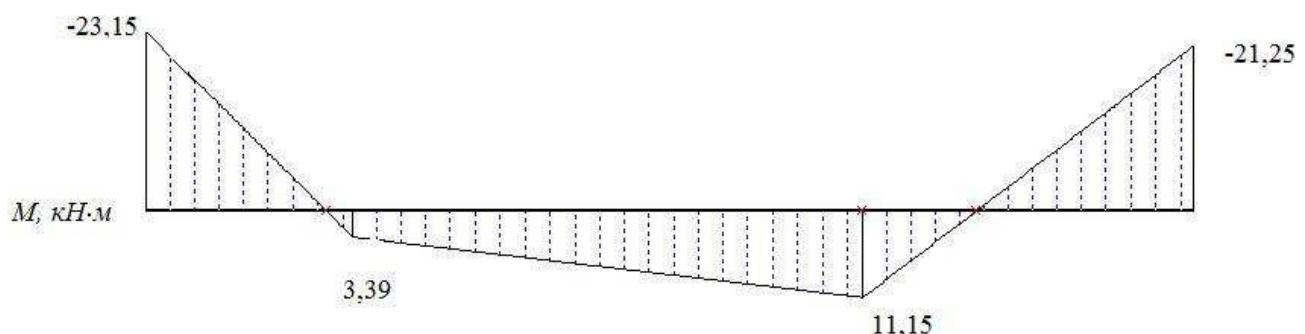


Рисунок 5.5 – Эпюра изгибающих моментов

Максимальный момент в балке составляет:  $M_{\max} = 23,147 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Проверяем на прочность сечение двутавра 20 по ГОСТ 8239-89.

Условие прочности при изгибе:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (5.3)$$

где  $R_y$  - расчетное сопротивление стали, МПа;

$\gamma_c = 0,80$  - коэффициент условий работы.

Максимальные нормальные напряжения в двутавре составляют:

$$\sigma_{\max} = \frac{23100}{184} = 125,8 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 192 \text{ МПа}.$$

$\sigma_{\max} = 125,8 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 192 \text{ МПа}$ , следовательно, условие прочности выполняется.

При этом, коэффициент запаса  $n=1,5$ .

Условие прочности по касательным напряжениям имеет вид:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\tau_{\max} \leq R_s \cdot \gamma_c, \quad (5.4)$$

где  $R_s$  - расчетное сопротивление стали сдвигу, МПа.

Максимальные касательные напряжения в двутавре составляют:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{b \cdot I_x}, \quad (5.5)$$

где  $S_x$  - статический момент полусечения,  $\text{см}^3$ ;

$b$  - ширина полки;

$I_x$  - момент инерции,  $\text{см}^4$ .

Максимальные касательные напряжения в двутавре составляют:

$$\tau_{\max} = \frac{58500 \cdot 104 \cdot 10^{-6}}{0,0052 \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} = 63,53 \text{ МПа}.$$

$\tau_{\max} = 63,53 \text{ МПа} < R_s \cdot \gamma_c = 111,36 \text{ МПа}$ , следовательно, условие прочности выполняется.

При этом, коэффициент запаса  $n=1,8$ .

Результирующее напряжение в двутавре определяется по формуле:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3\tau_{\max}^2}. \quad (5.6)$$

Подставив ранее посчитанные значения, получим:

$$\sigma_p = \sqrt{125,8^2 + 3 \cdot 63,53^2} = 167,14 \text{ МПа}.$$

$\sigma_p = 167,14 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 192 \text{ МПа}$ , следовательно, условие прочности выполняется (коэффициент запаса  $n=1,1$ )

Строим эпюры нормальных, касательных и результирующих напряжений сечения двутавра:

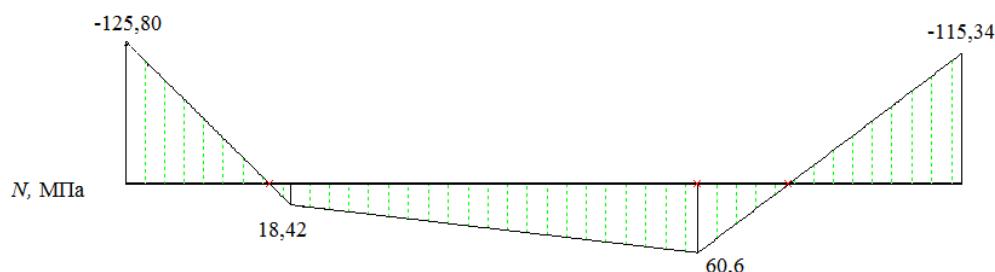


Рисунок 5.6 – Эпюра нормальных напряжений

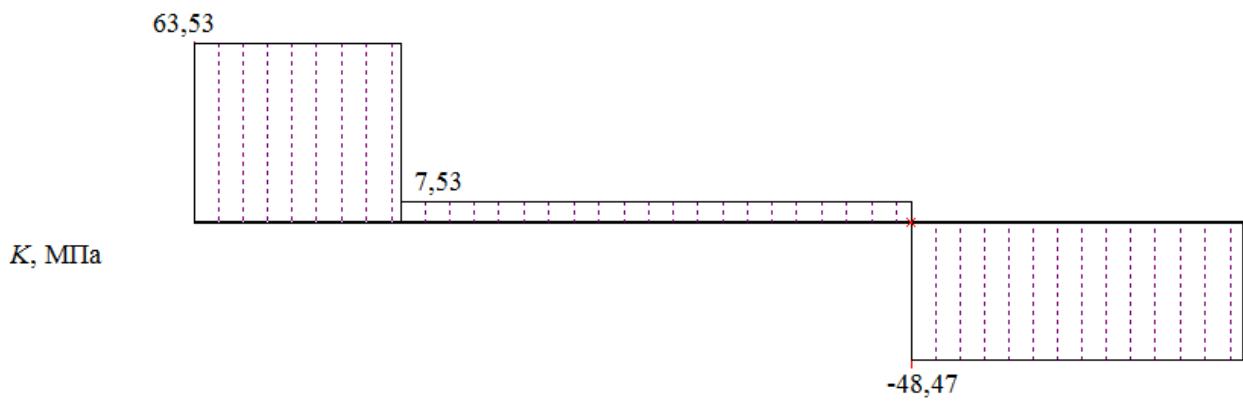


Рисунок 5.7 – Эпюра касательных напряжений

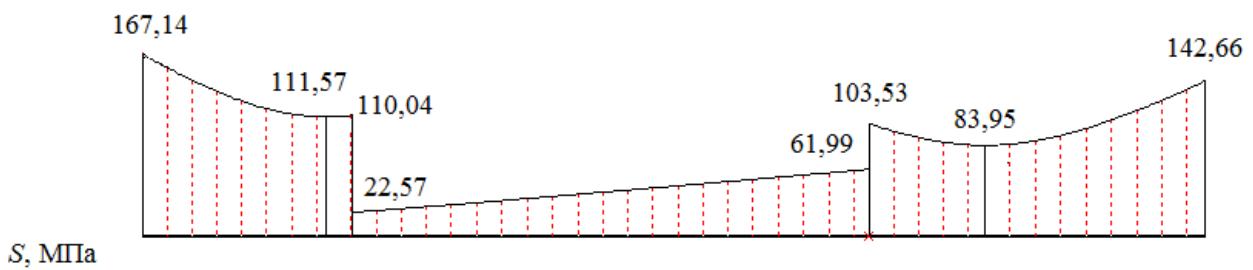


Рисунок 5.8 – Эпюра результирующих напряжений

Записываем уравнения углов поворота и прогибов по методу начальных параметров:

На участке  $AB$  ( $0 \leq z_1 \leq 0,454$  м):

$$EJ \cdot \varphi(z) = EJ \cdot \varphi_0 - M_A \cdot z + R_A \cdot \frac{z^2}{2};$$

$$EJ \cdot v(z) = EJ \cdot v_0 + EJ \cdot \varphi_0 \cdot z - M_A \cdot \frac{z^2}{2} + R_A \cdot \frac{z^3}{6}.$$

На участке  $BC$  ( $0,454 \leq z_2 \leq 1,574$  м):

$$EJ \cdot \varphi(z) = EJ \cdot \varphi_0 - M_A \cdot z + R_A \cdot \frac{z^2}{2} - Q \cdot \frac{(z - 0,24)^2}{2};$$

$$EJ \cdot v(z) = EJ \cdot v_0 + EJ \cdot \varphi_0 \cdot z - M_A \cdot \frac{z^2}{2} + R_A \cdot \frac{z^3}{6} - Q \cdot \frac{(z - 0,24)^3}{6}.$$

На участке  $CD$  ( $1,574 \leq z_3 \leq 2,3$  м):

Инв. № подл.	Подпись подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

$$EJ \cdot \varphi(z) = EJ \cdot \varphi_0 - M_A \cdot z + R_A \cdot \frac{z^2}{2} - Q \cdot \frac{(z-0,24)^2}{2} - Q \cdot \frac{(z-0,72)^2}{2};$$

$$EJ \cdot v(z) = EJ \cdot v_0 + EJ \cdot \varphi_0 \cdot z - M_A \cdot \frac{z^2}{2} + R_A \cdot \frac{z^3}{6} - Q \cdot \frac{(z-0,24)^3}{6} - Q \cdot \frac{(z-0,72)^3}{6}.$$

Из условий закрепления по этим уравнениям вычислим начальные параметры:

- начальный угол поворота  $\varphi_0 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$ ;
- начальный прогиб балки  $v_0 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}^3$ .

Найдем углы поворота и прогибы сечений на каждом участке:

На участке  $AB$  ( $0 \leq z_1 \leq 0,454 \text{ м}$ ):

$$EJ \cdot \varphi(0) = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$EJ \cdot v(0) = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$EJ \cdot \varphi(0,1135) = -2,251 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$EJ \cdot v(0,1135) = -0,1349 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$EJ \cdot \varphi(0,227) = -3,749 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$EJ \cdot v(0,227) = -0,4824 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$EJ \cdot \varphi(0,3405) = -4,493 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$EJ \cdot v(0,3405) = -0,9573 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$EJ \cdot \varphi(0,454) = -4,485 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$EJ \cdot v(0,454) = -1,474 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

На участке  $BC$  ( $0,454 \leq z_2 \leq 1,574 \text{ м}$ ):

$$EJ \cdot \varphi(0,454) = -4,485 \text{ кН} \cdot \text{м}^2; EJ \cdot \varphi(0,734) = -3,265 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$EJ \cdot v(0,454) = -1,474 \text{ кН} \cdot \text{м}^3; EJ \cdot v(0,734) = -2,572 \text{ кН} \cdot \text{м}^3$$

$$EJ \cdot \varphi(1,014) = -1,501 \text{ кН} \cdot \text{м}^2; EJ \cdot \varphi(1,294) = 0,8062 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$EJ \cdot v(1,014) = -3,251 \text{ кН} \cdot \text{м}^3; EJ \cdot v(1,294) = -3,361 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$EJ \cdot \varphi(1,574) = 3,657 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$$EJ \cdot v(1,574) = -2,749 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

На участке  $CD$  ( $1,574 \leq z_3 \leq 2,3 \text{ м}$ ):

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\begin{aligned}
 EJ \cdot \varphi(1,574) &= 3,657 \text{ кН} \cdot \text{м}^2; \\
 EJ \cdot v(1,574) &= -2,749 \text{ кН} \cdot \text{м}^3; \\
 EJ \cdot \varphi(1,7555) &= 4,946 \text{ кН} \cdot \text{м}^2; \\
 EJ \cdot v(1,7555) &= -1,946 \text{ кН} \cdot \text{м}^3; \\
 EJ \cdot \varphi(1,937) &= 4,766 \text{ кН} \cdot \text{м}^2; \\
 EJ \cdot v(1,937) &= -1,043 \text{ кН} \cdot \text{м}^3; \\
 EJ \cdot \varphi(2,1185) &= 3,118 \text{ кН} \cdot \text{м}^2; \\
 EJ \cdot v(2,1185) &= -0,3051 \text{ кН} \cdot \text{м}^3; \\
 EJ \cdot \varphi(2,3) &= 0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2; \\
 EJ \cdot v(2,3) &= 0 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.
 \end{aligned}$$

По полученным значениям построим эпюры прогибов и углов поворота:

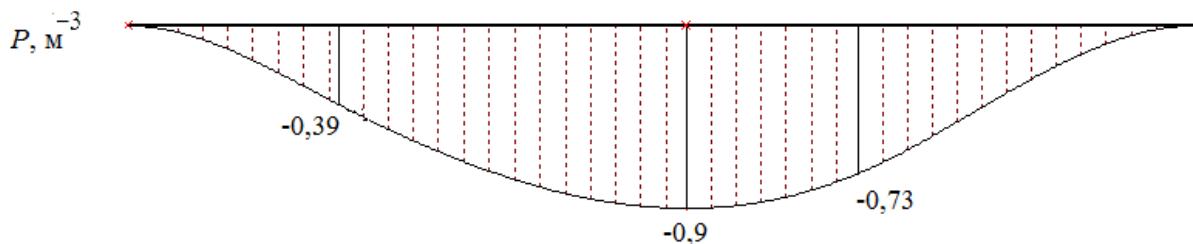


Рисунок 5.9 – Эпюра прогибов

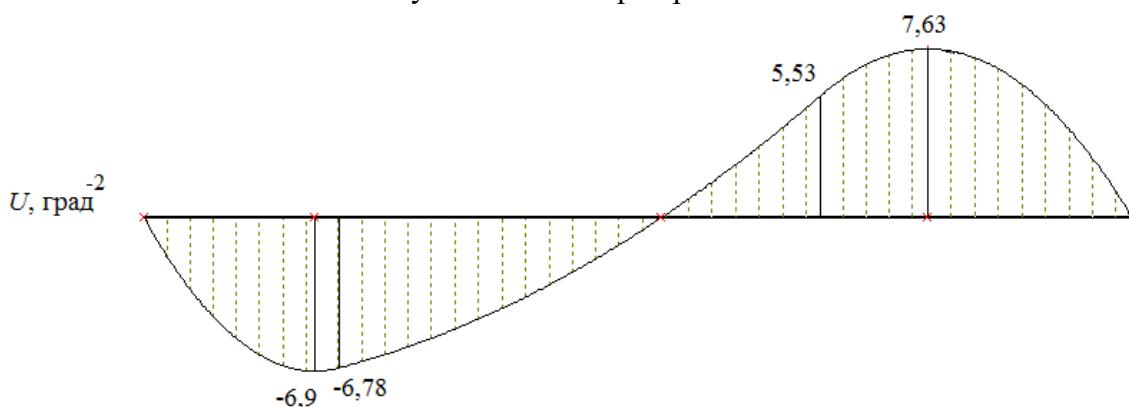


Рисунок 5.10 – Эпюра углов поворота

$v_{\max} = 1 / 2566 (\Delta = 1203 \text{ мм}) < 1 / 250$ , следовательно, условие жесткости выполняется (коэффициент запаса  $n=10,3$ ).

Балка сечением двутавра 20 и длиной  $l=2300$  мм прошла проверку прочности и жесткости при максимальной сжимающей статической нагрузке, приходящейся на болты крепления.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Так же для подлебедочной балки данной лебедки можно использовать сечение двутавра 22 по ГОСТ 8239-89. В таком случае ожидается увеличение коэффициента запаса на 38%.

Так как выше была рассчитана наиболее нагруженная двутавровая балка из двух, то производить аналогичный расчет для менее нагруженной не имеет смысла.

## 5.2 Расчет направляющих

В аварийных режимах посадки на ловители направляющие служат прочной основой для плавного торможения и надежного удержания кабины (противовеса) до момента снятия с ловителей. Возникающие при этом значительные динамические нагрузки непосредственно воспринимаются направляющими и устройствами их крепления в шахте.

В нормальных рабочих режимах направляющие воспринимают силы нормального давления башмаков, которые обусловлены смещением центра масс груза и кабины относительно канатной подвески или процессом загрузки кабины средствами напольного транспорта.

От прочности, жесткости и точности установки направляющих зависит надежность и безопасность работы лифта.

Прочностной расчет направляющих производится с учетом нагрузок, действующих в рабочем режиме (загрузка/разгрузка, движение) и при посадке на ловители.

Направляющая рассматривается как неразрезная многопролетная балка, загруженная в одном пролете поперечными, нормальными силами и продольной тормозной силой при посадке кабины (противовеса) на ловители, расчетная схема которой указана на рисунке 5.11:

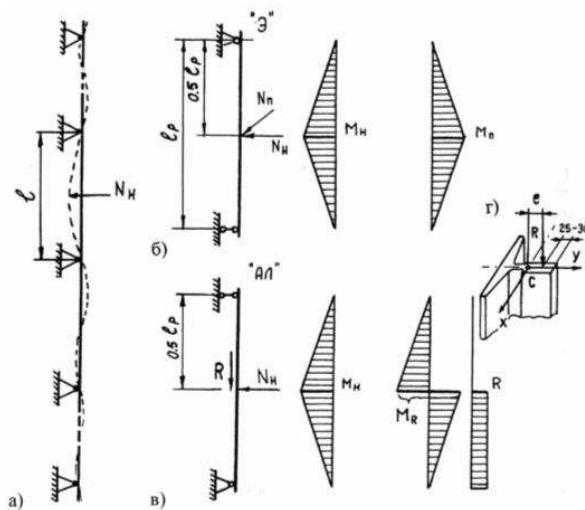


Рисунок 5.11 – Расчетные схемы направляющих:

- а) многоопорная балка; б) двухопорная балка (рабочий режим); в) двухопорная балка (аварийный режим); г) действие силы  $R$ .

## 1) подбор сечения

Подберем профиль поперечного сечения направляющей кабины для пассажирского лифта грузоподъемностью 630 кг и скорости движения 1 м/с.

Выберем специальный тавровый профиль НТ-3, основные размеры которого представлены в таблице 5.5:

Таблица 5.5 – Основные размеры направляющих таврового профиля

Обозначение	Размер поперечного профиля, мм				Масса 1 м, кг
	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	
НТ-3	60	35	90	16	11,8

Размеры, необходимые для определения координат центра тяжести сечения, момента инерции и момента сопротивления указаны на рисунке 5.12(б):

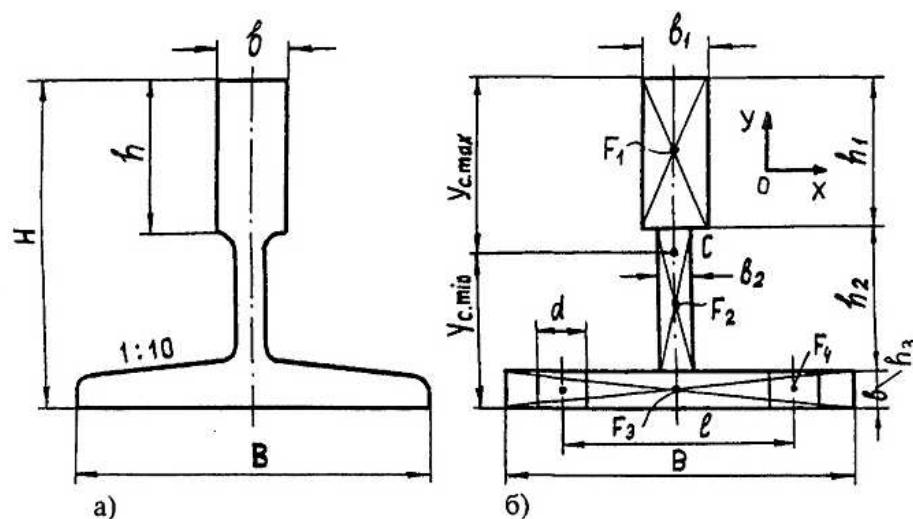


Рисунок 5.12 – Профиль направляющей:

а) схема поперечного сечения; б) расчетная схема.

Шаг крепления направляющей примем 2 м.

Рассчитываем величины моментов инерции и моментов сопротивления поперечного сечения направляющей.

Определим дополнительные геометрические характеристики, используя расчетную схему, изображенную на рисунке 5.12 (б):

$$h_1 = 35 \text{ мм}; \quad b_1 = 16 \text{ мм}; \quad Y_1 = 42,5 \text{ мм}; \quad F_1 = 560 \text{ мм}^2;$$

$$h_2 = 17 \text{ мм}; \quad b_2 = 8 \text{ мм}; \quad Y_2 = 16,5 \text{ мм}; \quad F_2 = 136 \text{ мм}^2;$$

$$h_3 = 8 \text{ мм}; \quad b_3 = 90 \text{ мм}; \quad Y_3 = 4 \text{ мм}; \quad F_3 = 720 \text{ мм}^2;$$

$$h_4 = 8 \text{ мм}; \quad b_4 = 8 \text{ мм}; \quad Y_4 = 4 \text{ мм}; \quad F_4 = 64 \text{ мм}^2.$$

Площадь поперечного сечения брутто:

$$F_{\bar{o}} = F_1 + F_2 + F_3 = b_1 \cdot h_1 + b_2 \cdot h_2 + b_3 \cdot h_3. \quad (5.7)$$

$$F_{\bar{o}} = b_1 \cdot h_1 + b_2 \cdot h_2 + b_3 \cdot h_3 = 16 \cdot 35 + 8 \cdot 17 + 90 \cdot 8 = 1416 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения нетто (с учетом ослабления отверстиями):

$$F_h = F_1 + F_2 + F_3 - 2F_4 = b_1 \cdot h_1 + b_2 \cdot h_2 + b_3 \cdot h_3 - 2b_4 \cdot h_4. \quad (5.8)$$

$$F_h = 1416 - 2 \cdot 8 \cdot 8 = 1288 \text{ мм.}$$

Координаты центра тяжести сечения брутто:

$$Y_{c\bar{o}} = \frac{(F_1 \cdot Y_1 + F_2 \cdot Y_2 + F_3 \cdot Y_3)}{F_{\bar{o}}}. \quad (5.9)$$

$$X_{c\bar{o}} = 0$$

$$Y_{c\bar{o}} = \frac{(560 \cdot 42,5 + 136 \cdot 16,5 + 720 \cdot 4)}{1416} = 20,43 \text{ мм.}$$

Координаты центра тяжести сечения нетто:

$$Y_{ch} = \frac{(F_1 \cdot Y_1 + F_2 \cdot Y_2 + F_3 \cdot Y_3 - 2F_4 \cdot Y_4)}{F_h}, \quad (5.10)$$

$$X_{ch} = 0$$

где  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  - координаты центра элементарных площадок поперечного сечения относительно любой выбранной точки горизонтальной оси сечения.

$$Y_{ch} = \frac{(28924 - 2 \cdot 64 \cdot 4)}{1288} = 22 \text{ мм.}$$

Моменты инерции сечения брутто:

$$I_{x\bar{o}} = \sum_{i=1}^{i=3} (F_i \cdot Y_i^2 + \frac{b_i \cdot h_i^3}{12}). \quad (5.11)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$I_{x\delta} = \left( 560 \cdot 42,5^2 + \frac{16 \cdot 35^3}{12} \right) + \left( 136 \cdot 16,5^2 + \frac{8 \cdot 17^3}{12} \right) + \left( 720 \cdot 4^2 + \frac{90 \cdot 8^3}{12} \right) = 1124328 \text{ мм}^4$$

$$I_{y\delta} = \sum_{i=1}^{i=3} \frac{h_i \cdot b_i^3}{12}. \quad (5.12)$$

$$I_{y\delta} = \frac{35 \cdot 16^3}{12} + \frac{17 \cdot 8^3}{12} + \frac{8 \cdot 90^3}{12} = 498672 \text{ мм}^4.$$

Моменты инерции сечения нетто:

$$I_{xH} = \sum_{i=1}^{i=3} F_i \cdot Y_i^2 - 2 \left( F_4 \cdot Y_4^2 + \frac{b_4 \cdot h_4^3}{12} \right). \quad (5.13)$$

$$I_{xH} = (560 \cdot 42,5^2 + 136 \cdot 16,5^2 + 720 \cdot 4^2) - 2 \cdot \left( 64 \cdot 4^2 + \frac{8 \cdot 8^3}{12} \right) = 1057315,3 \text{ мм}^4.$$

$$I_{yH} = \sum_{i=1}^{i=3} \frac{h_i \cdot b_i^3}{12} - \frac{h_4 \cdot b_4^3}{6}. \quad (5.14)$$

$$I_{yH} = \left( \frac{35 \cdot 16^3}{12} + \frac{17 \cdot 8^3}{12} + \frac{8 \cdot 90^3}{12} \right) - \frac{8 \cdot 8^3}{6} = 497989,3 \text{ мм}^4.$$

Минимальная величина радиуса инерции брутто:

$$r_i = \sqrt{\frac{I_{x\delta}}{F_\delta}}. \quad (5.15)$$

$$r_i = \sqrt{\frac{1124328}{1416}} = 28,2 \text{ мм}.$$

Моменты сопротивления брутто при изгибе в плоскости направляющих:  
- для верхней точки сечения:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$W_h^{\varepsilon\delta} = \frac{I_{x\delta}}{Y_{c\max}}. \quad (5.16)$$

$$W_h^{\varepsilon\delta} = \frac{1124328}{39,57} = 28413,6 \text{ мм}^3.$$

- для нижней точки сечения:

$$W_h^{\varepsilon\delta} = \frac{I_{x\delta}}{Y_{c\min}}. \quad (5.17)$$

$$W_h^{\varepsilon\delta} = \frac{1124328}{20,43} = 55033,2 \text{ мм}^3.$$

Момент сопротивления брутто при изгибе в плоскости перпендикулярной плоскости направляющих:

- для крайней точки основания сечения направляющих:

$$W_n^{\kappa\delta} = \frac{2 \cdot I_{y\delta}}{B}. \quad (5.18)$$

$$W_n^{\kappa\delta} = \frac{2 \cdot 498672}{90} = 11081,6 \text{ мм}^3.$$

- для точки на боковой поверхности головки направляющей:

$$W_n^{\varepsilon\delta} = \frac{2 \cdot I_{y\delta}}{b_1}. \quad (5.19)$$

$$W_n^{\varepsilon\delta} = \frac{2 \cdot 498672}{16} = 62334 \text{ мм}^3.$$

Момент сопротивления нетто при изгибе в плоскости направляющих:

- в верхней точке сечения:

$$W_h^{\varepsilon\eta} = \frac{I_{x\eta}}{Y_{c\max}}. \quad (5.20)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$W_{\text{h}}^{\text{sh}} = \frac{1057315,3}{39,57} = 26720,1 \text{ мм}^3.$$

- в нижней точке сечения:

$$W_{\text{h}}^{\text{sh}} = \frac{I_{xh}}{Y_{c \min}}. \quad (5.21)$$

$$W_{\text{h}}^{\text{sh}} = \frac{1057315,3}{20,43} = 51753,1 \text{ мм}^3.$$

Момент сопротивления нетто при изгибе в плоскости, перпендикулярной плоскости направляющих:

- в крайней точке основания сечения:

$$W_n^{\text{kh}} = \frac{2 \cdot I_{yh}}{B}. \quad (5.22)$$

$$W_n^{\text{kh}} = \frac{2 \cdot 497989,3}{90} = 11066,4 \text{ мм}^3.$$

- в точке боковой поверхности головки:

$$W_n^{\text{sh}} = \frac{2 \cdot I_{yh}}{b_1}. \quad (5.23)$$

$$W_n^{\text{sh}} = \frac{2 \cdot 497989,3}{16} = 62248,7 \text{ мм}^3.$$

2) расчет направляющей в рабочем режиме работы лифта с 10% перегрузкой кабины (рисунок 5.11(б))

Предполагается, что в центре пролета направляющей действуют расчетная, нормальная сила  $N_h$  в плоскости направляющих и нормальная сила  $N_{\pi}$  перпендикулярная плоскости направляющих.

$$N_h = \frac{P_g \cdot (Y_g + Y_{\pi}) + P_k \cdot (Y_k + Y_{\pi})}{h}; \quad (5.24)$$

$$N_{\pi} = \frac{P_g \cdot (X_g + X_{\pi}) + P_k \cdot (X_k + X_{\pi})}{2 \cdot h}, \quad (5.25)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

где  $P_g$  - величина силы тяжести массы расчетного груза, кН;

$P_k = Q_k \cdot g = 1250 \cdot 9,81 = 12,3$  - сила тяжести массы кабины, кН;

$X_n, Y_n$  - координаты смещения точки подвески кабины, принимаются по конструктивным соображениям от 0,03 до 0,1 м;

$X_k, Y_k$  - величина продольного и поперечного смещения центра масс кабины, зависящая от конструкции дверей кабины и может приниматься в пределах от 0,02 до 0,1 м;

$X_r = B / 6, Y_r = A / 6$  - определяются в предположении, что расчетный груз равномерно распределен по треугольной площадке, составляющей 50% площади пола кабины, отделенной диагональю прямоугольного контура;

$h$  – расстояние между башмаками;

$A, B$  – ширина и глубина кабины соответственно. ( $A = 2100$  мм;  $B = 1100$  мм).

$$P_g = Q_p \cdot 10^{-2} = 0,5 \cdot Q_c \cdot 10^{-2}, \quad (5.26)$$

где  $Q_c$  - грузоподъемность из условия свободного заполнения кабины.

$$P_g = 0,5 \cdot 630 \cdot 10^{-2} = 3,15 \text{ кН}.$$

Подставив значения в формулы (5.24) и (5.25), получим:

$$N_h = \frac{3,15 \cdot (0,35 + 0,05) + 12,3 \cdot (0,05 + 0,05)}{3} = \frac{2,49}{3} = 0,83 \text{ кН}.$$

$$N_n = \frac{3,15 \cdot (0,18 + 0,05) + 12,3 \cdot (0,05 + 0,05)}{2 \cdot 3} = \frac{1,9545}{6} = 0,33 \text{ кН}.$$

Пролет реальной многопролетной балки заменяется расчетным эквивалентным, учитывающим влияние жесткости соседних пролетов, путем сокращения его длины до величины:

$$l_p = \frac{5}{6} l. \quad (5.27)$$

В среднем сечении пролета во взаимно перпендикулярных направлениях действуют изгибающие моменты от поперечных сил в плоскости направляющих:

$$M_h = N_h \cdot \frac{l_p}{4}. \quad (5.28)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

И в плоскости, перпендикулярной плоскости направляющих:

$$M_{\pi} = N_{\pi} \cdot \frac{l_p}{4}. \quad (5.29)$$

Подставляя значения в формулы (5.27), (5.28) и (5.29), получим:

$$l_p = \frac{5}{6} \cdot 2 = 1,67 \text{ м.}$$

$$M_h = 830 \cdot \frac{1,67}{4} = 346,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{\pi} = 330 \cdot \frac{1,67}{4} = 137,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Наибольшее расчетное нормальное напряжение определяется геометрическим сложением нормальных напряжений, действующих в двух плоскостях изгиба:

$$\sigma_p = \sqrt{\left(\frac{M_h}{W_h}\right)^2 + \left(\frac{M_{\pi}}{W_{\pi}}\right)^2}, \quad (5.30)$$

где  $W_h, W_{\pi}$  - минимальные значения величины момента сопротивления сечения направляющей соответствующих плоскостей изгиба.

Подставляя ранее посчитанные значения в формулу 5.30, получим:

$$\sigma_p = \sqrt{\left(\frac{346,5}{26,72}\right)^2 + \left(\frac{137,8}{11,066}\right)^2} = 18 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Коэффициент запаса прочности определяется по отношению к пределу текучести материала направляющей. Материал направляющей – Сталь 20 ГОСТ 1050-74 ( $\sigma_t = 245 \text{ МПа} = 2450000 \text{ Н/м}^2$ ).

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_p} \geq [n_s]. \quad (5.31)$$

где  $[n_s]$  - допускаемый запас прочности в рабочем режиме.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$n = \frac{2450000}{18} = 136111,1 \geq 1,5.$$

Условие прочности выполняется.

3) проверка жесткости направляющей  
Прогиб в плоскости направляющей:

$$f_h = \frac{N_h \cdot l_p^3}{48 \cdot E \cdot I_{x\sigma}}, \quad (5.32)$$

где  $E = 2,17 \cdot 10^7$  Н/см<sup>2</sup>.

$$f_h = \frac{830 \cdot 167^3}{48 \cdot 2,17 \cdot 10^7 \cdot 49867} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}.$$

Прогиб направляющей не должен превышать величины 1/1000.

$$\frac{200}{1000} = 0,2 \text{ см} > 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}.$$

Условие жесткости выполняется.

## 6 Расчет конструкции лебедки методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS

### 6.1 Основы метода конечных элементов

Метод конечных элементов (далее МКЭ) – это метод приближенного численного решения физических задач. В его основе лежать две основные идеи: дискретизация исследуемого объекта на конечное множество элементов и кусочно-элементная аппроксимация исследуемых функций. Историческими предшественниками МКЭ были различные методы строительной механики и механики деформируемого твёрдого тела, использующие дискретизацию. Ещё Пуассон в начале 19 века предлагал рассматривать сплошную среду как систему конечных объемов. Во второй половине 19 века Д. Максвеллом, А. Кастильяно и другими их современниками были заложены основы анализа стержневых конструкций. В последующие годы были сформулированы метод сил и метод перемещений.

Основное отличие МКЭ от классических алгоритмов вариационных принципов и методов невязок заключается в выборе базисных функций. Они

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

берутся в виде кусочно-непрерывных функций, которые обращаются в нуль всюду, кроме ограниченных подобластей, являющихся конечными элементами. Это ведет к ленточной разреженной структуре матрицы коэффициентов разрешающей системы уравнений.

Основные этапы создания дискретной модели неизвестной величины следующие:

- 1) в исследуемой области задается конечное число точек (узлов);
- 2) значения непрерывной величины в каждом узле считаются неизвестными и они должны быть определены;
- 3) исследуемая область разбивается на конечное число подобластей (элементов), имеющих общие точки (узлы);
- 4) непрерывная величина в каждом элементе аппроксимируется полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины: для каждого элемента определяется свой полином, но его коэффициенты подбираются так, чтобы сохранялась непрерывность величины на каждой границе элемента.

## 6.2 Расчет конструкции лебедки

В качестве исходных данных для расчета служат сведения о геометрии рассчитываемой конструкции, характеристики ее материала, а также значения прилагаемых к ней сил и нагрузок. Для проведения расчета, строим трехмерную параметрическую модель конструкции, затем импортируем эту модель в ANSYS, разбиваем на конечные элементы, задаем граничные условия и нагружаем заданными силами.

Для расчета МКЭ в ANSYS требуется:

- 1) построить 3D-модель рассчитываемой конструкции в системе автоматизированного проектирования;
  - 2) перенести модель в ANSYS, выбрать материалы и построить сетку конечных элементов;
  - 3) задать граничные условия и приложить нагрузки;
  - 4) определить напряжения в конструкции;
  - 5) определить деформации в конструкции.
1. Построение модели конструкции лебедки лифта

В программном комплексе КОМПАС-3D построим модель конструкции лебедки в трехмерном пространстве (рисунок 6.1):

Инв. № подл.	Подпись	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

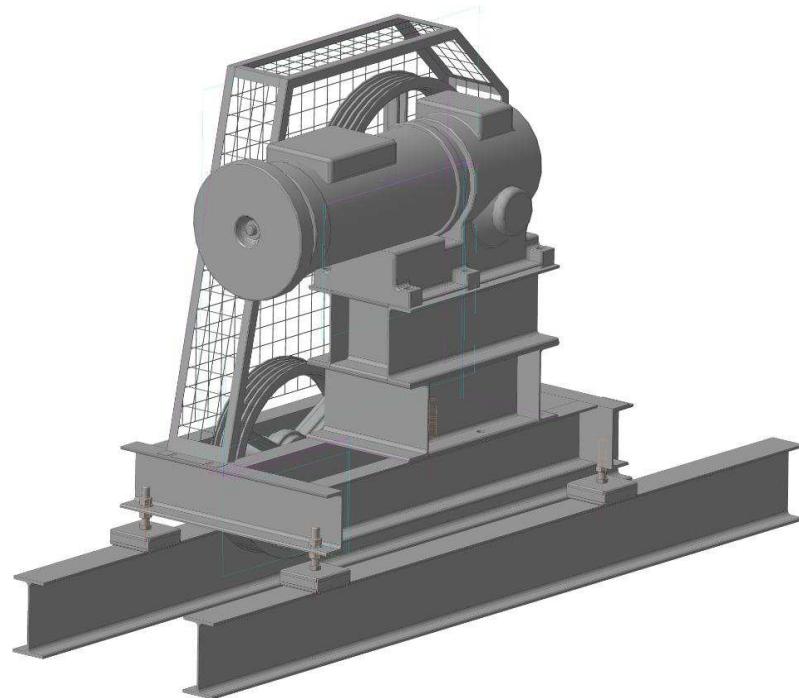


Рисунок 6.1 – Конструкция лебедки

В силу слабой мощности компьютера упростим модель для расчета (рисунок 6.2):

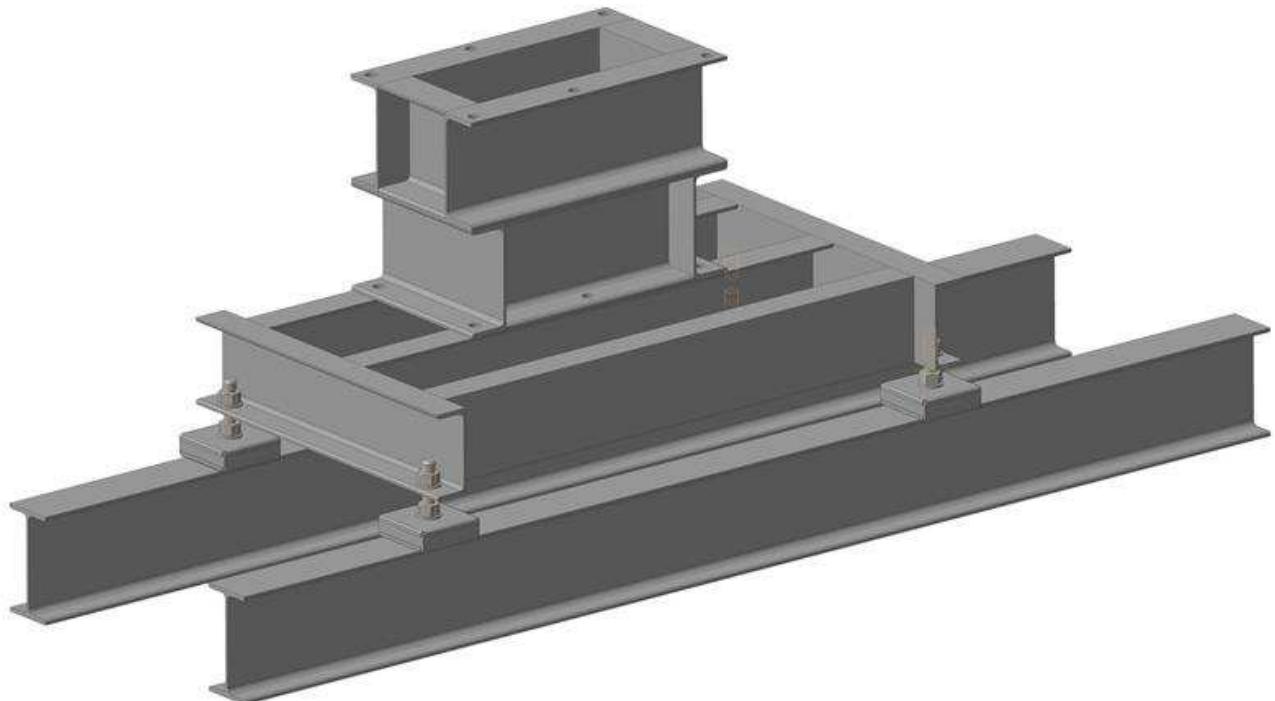


Рисунок 6.2 – Упрощенная конструкция лебедки

Импортируем построенную упрощенную модель конструкции лебедки в ANSYS. Выбираем материалы и указываем их свойства (рисунок 6.3). Для этих

Инв. № подл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

целей в Workbench используем модуль управления материалами, связанный с блоком анализа и представленный элементом Engineering Data.

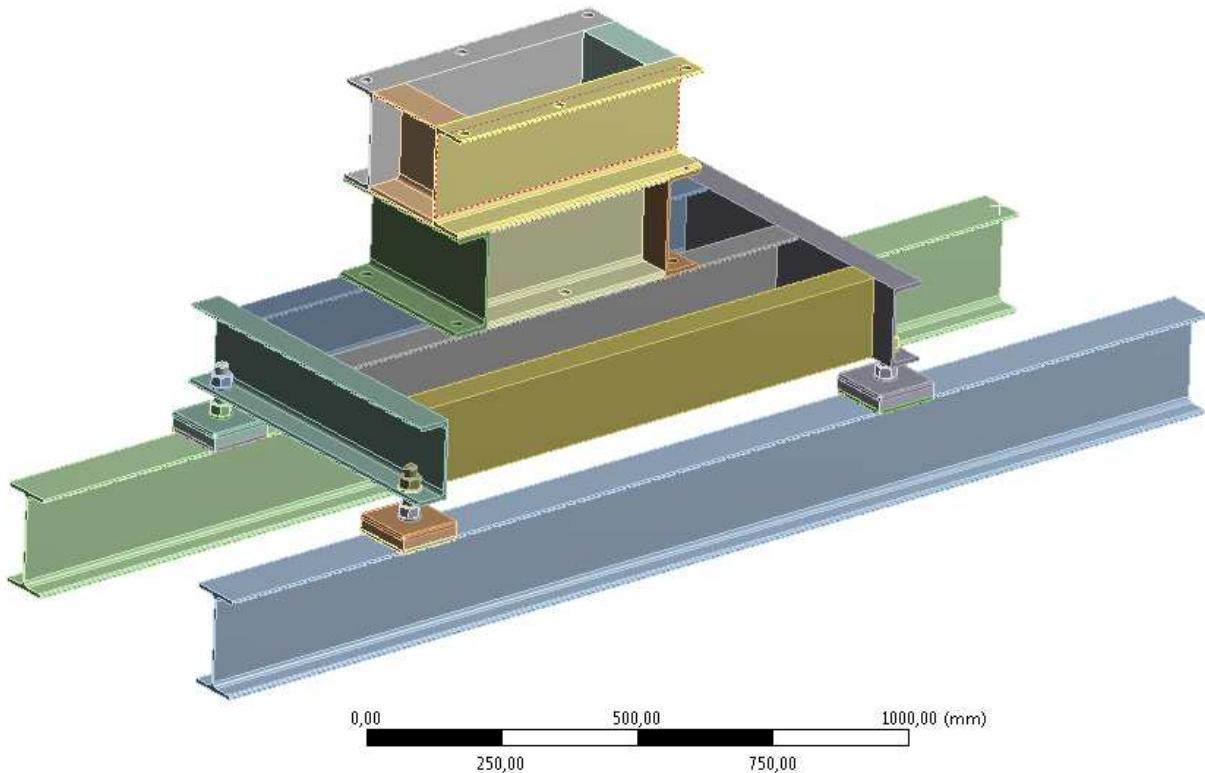


Рисунок 6.3 – Модель конструкции лебедки в ANSYS

## 2. Генерация конечно-элементной сетки

Для получения численного решения необходимо выполнить разбиение геометрических моделей конечно-элементной сеткой. Данная процедура выполняется в модуле симуляции Mechanical.

Сетка генерируется на геометрической модели и является основой для составления и решения системы уравнений в матричном виде. Существует два способа генерации сетки:

- автоматическая генерация сетки с установками по умолчанию при запуске на решение. При этом имеется возможность предварительно просмотреть сетку для запуска на расчет, чтобы оценить её соответствие поставленной задаче;

- генерация сетки с задаваемыми пользователем установками. В этом случае пользователь самостоятельно определяет особенности создаваемой сетки и задает значения необходимых параметров.

Генерируем сетку конечно-элементов на модели конструкции лебедки (рисунок 6.4). Статистика сетки: 362766 узлов, 196134 элементов.

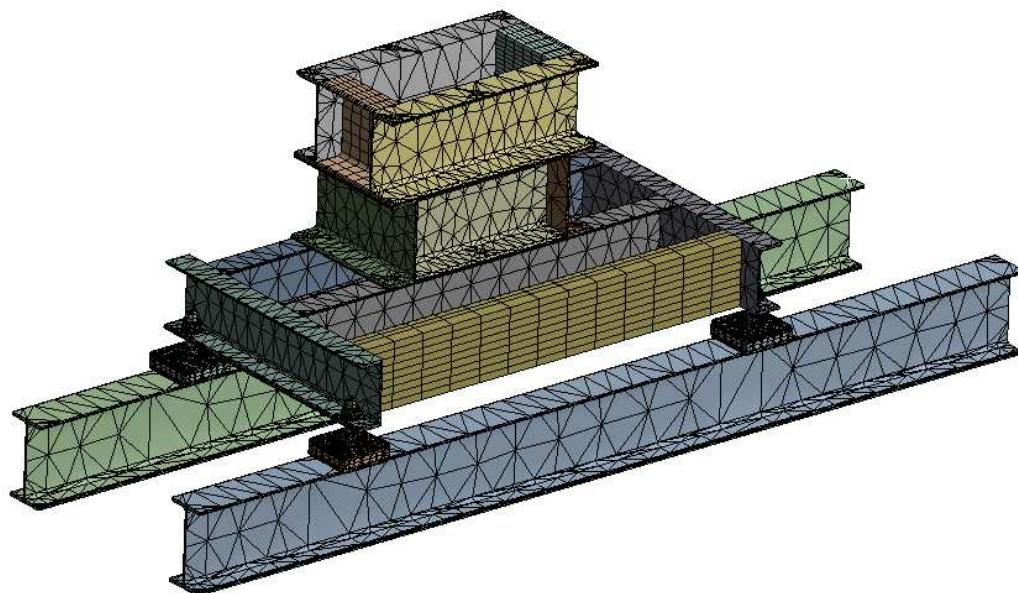


Рисунок 6.4 – Сетка конечных элементов на трехмерной модели конструкции лебедки

### 3. Граничные условия и нагружение

#### a) Граничные условия

Одним из важных этапов подготовки к проведению расчета и получения удовлетворительных результатов является определение внешних воздействий на конструкцию.

Обычно внешнее воздействие определяется на границе созданной модели. Под термином «ограничение» и «нагрузка» понимаются все разнообразные процессы, которые происходят как на поверхностях твердого тела, так и в отдельных точках внутри него. Под «ограничением» в Workbench понимается: закрепление, то есть ограничение перемещений и вращений в структурном анализе; а под «нагрузкой» - приложение сосредоточенных или распределенных сил.

Границные условия задаем с помощью функции fixed support, являющейся неподвижной опорой, по краям двутавров (рисунок 6.5):

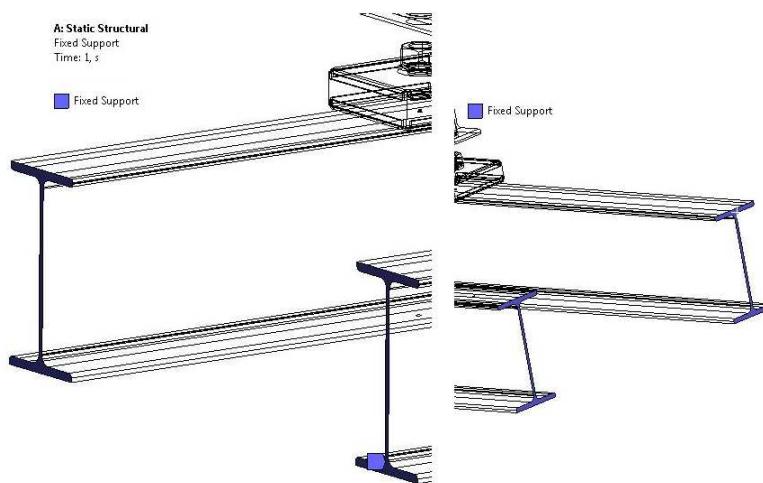


Рисунок 6.5 – Граничные условия модели конструкции лебедки

**б) Нагружение**

Конструкционные нагрузки в Workbench задаются в разделе Loads на панели инструментов Environment.

Так как используемая модель упрощенная, то сделаем допущение, что консольная нагрузка приложена в местах контакта лап редуктора и поверхности рамной конструкции.

Приложение нагрузки указано на рисунке 6.6:

A: Static Structural

Pressure

Time: 1, s

Pressure: 0,80404 MPa

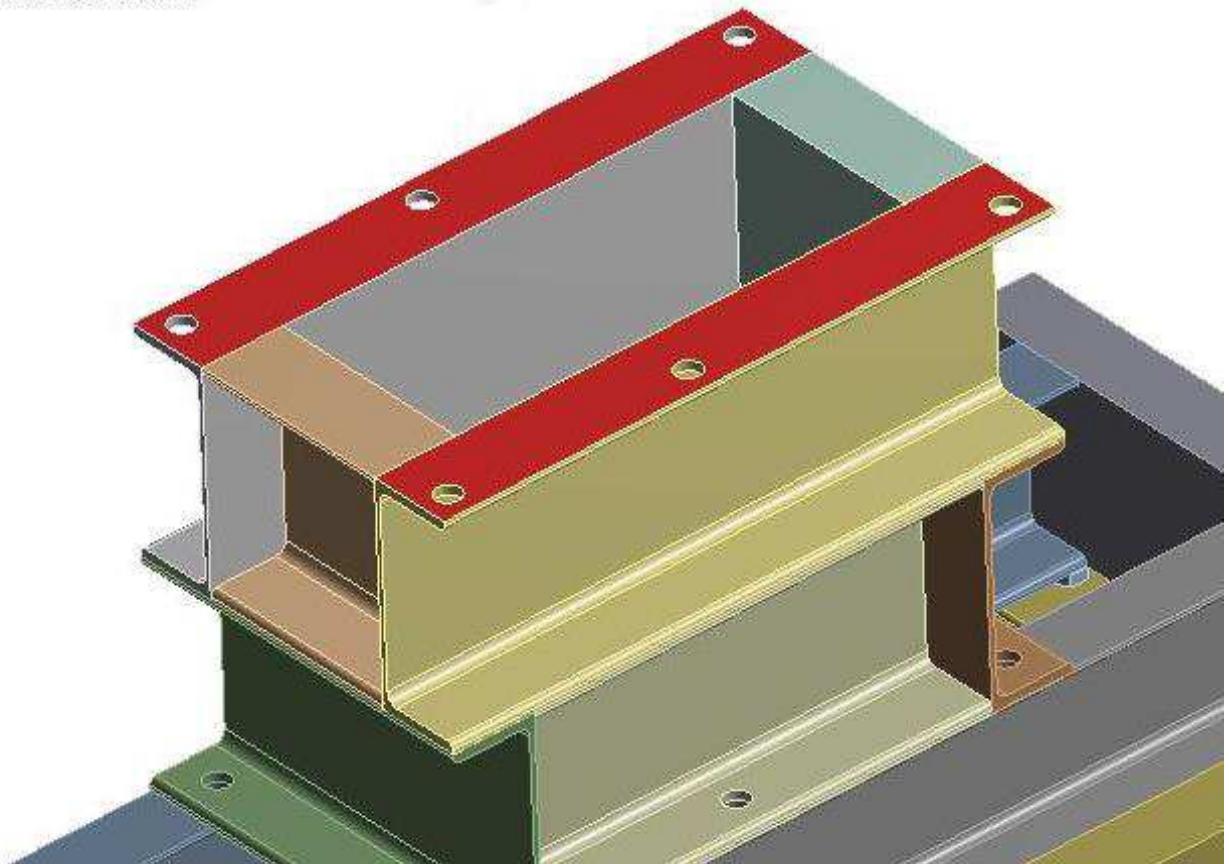


Рисунок 6.6 – Вес редуктора и консольная нагрузка

**4. Определение напряжений в конструкции**

Для определения напряжений с учетом граничных условий и приложенных нагрузок, воспользуемся функцией Equivalent Stress на панели вывода результатов расчета. Полученные результаты указаны на рисунке 6.7:

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

A: Static Structural  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa

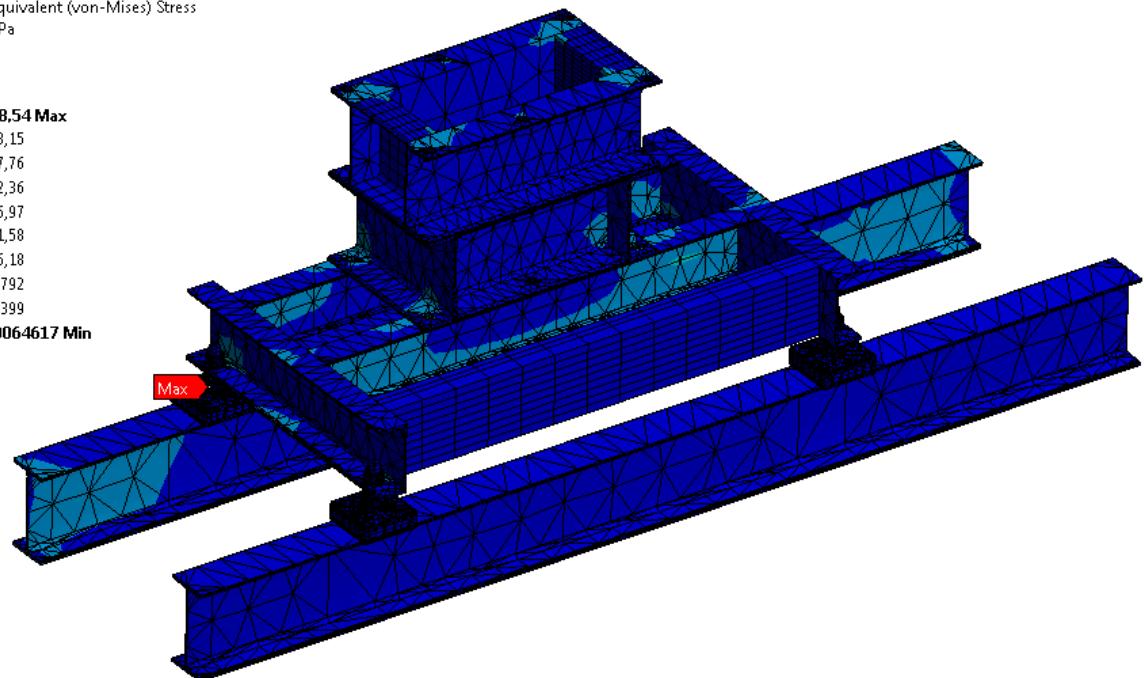
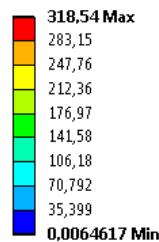


Рисунок 6.7 – Напряжения в конструкции лебедки

Полученные значения напряжений на балках рамной конструкции лебедки не превышают  $\sigma = 106,18 \text{ МПа}$ , что меньше допустимого значения  $R_y = 240 \text{ МПа}$  для данного материала балки, следовательно, предел прочности при данных условиях нагружения выполняется.

Максимальные значения напряжений возникают на резьбе шпильки 318, 54 МПа, что не превышает допускаемых значений для шпильки M24-6gх80 ГОСТ 22038-76. Результат указан на рисунке 6.8.

A: Static Structural  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa

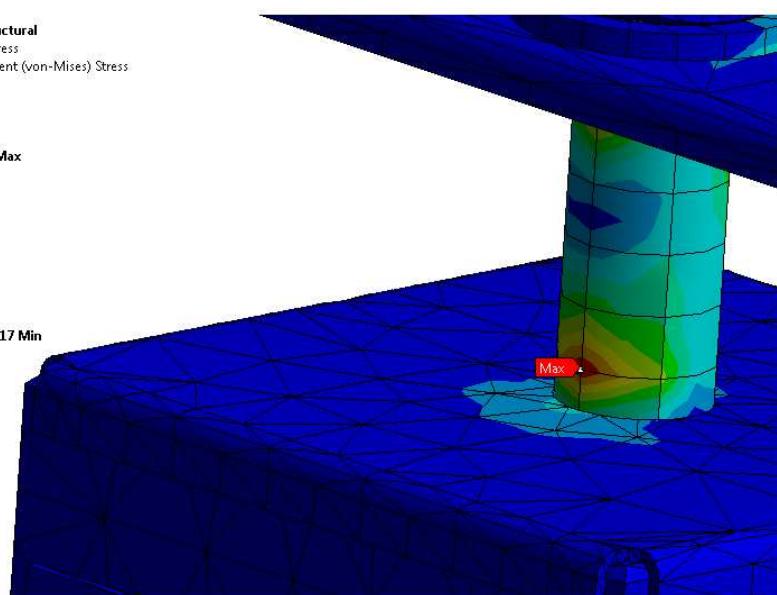
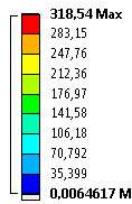


Рисунок 6.8 – Напряжения на шпильке

## 5. Определения деформаций в конструкции

Для определения деформаций с учетом граничных условий и приложенных нагрузок, воспользуемся функцией Total Deformation. Данная функция позволяет определить деформации. Результат указан на рисунке 6.9.

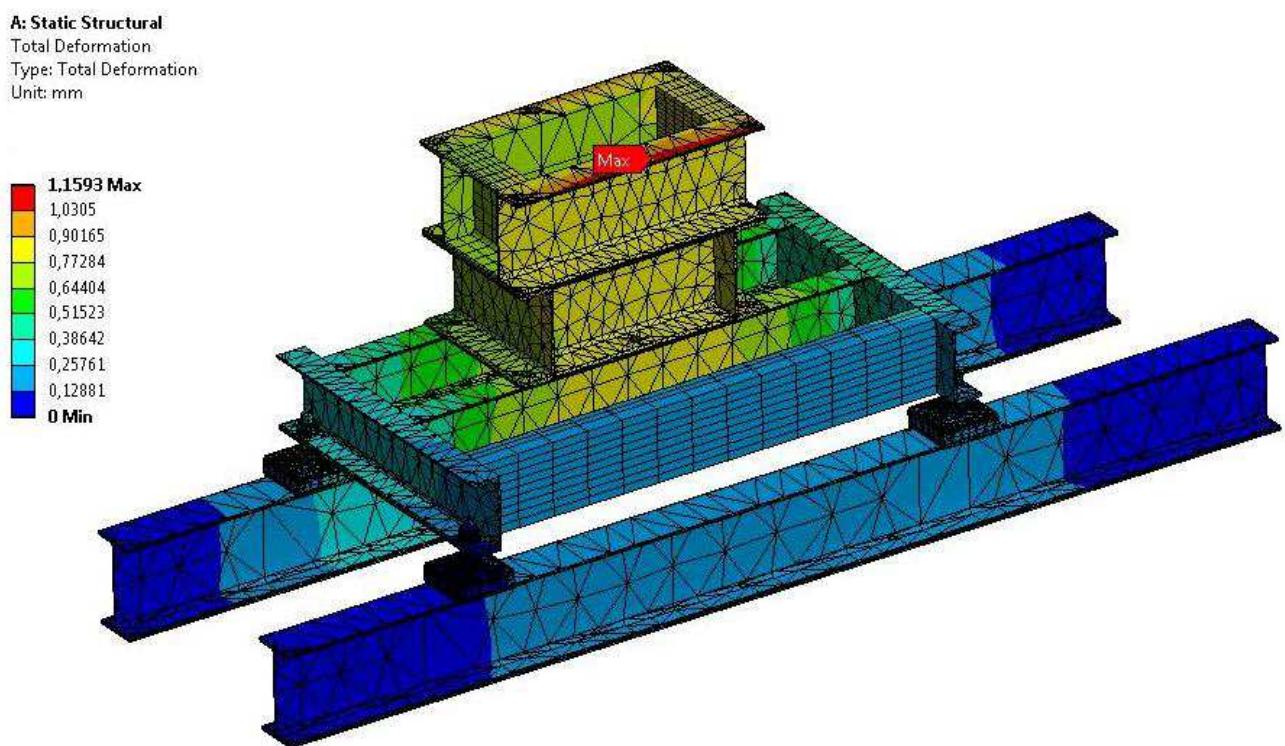


Рисунок 6.9 – Деформации в конструкции лебедки

Под действием нагрузки рамная конструкция лебедки прогибается с максимальным значением в 1,16 мм, что не превышает допустимых значений  $[f] = 2,32$  мм для балки длиной 580 мм (максимальный относительный прогиб  $L/250$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По заданным характеристикам была построена трёхмерная модель конструкции лебедки лифта грузоподъёмностью 630 кг с помощью системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

Произведен расчет одной из подлебедочных балок при максимально возможной нагрузке, используя методы, изложенные в курсе «Сопротивление материалов». Расчетная схема балки представлена, как статически неопределенная система. Для раскрытия статической неопределенности и нахождения реакций опор применён метод начальных параметров.

С помощью метода сечений были составлены уравнения поперечных сил и изгибающих моментов, а по методу начальных параметров уравнения прогибов и углов поворота. По полученным данным были построены эпюры и найдены максимальные значения изгибающих моментов, поперечных сил, а также прогибов и углов поворота.

Было подобрано оптимальное поперечное сечение с обеспеченным максимальным коэффициентом запаса. Условия прочности и жесткости подлебедочной балки выполняются. Смещения балок относительно друг друга или разметок не превышают допускаемые.

Так же был подобран профиль для балок направляющих кабины для пассажирского лифта грузоподъемностью 630 кг и скорости движения 1 м/с. Условия прочности и жесткости выполняются, обеспечен максимальный коэффициент запаса.

С помощью программы ANSYS были произведены проверочные расчеты конструкции лебедки методом конечных элементов. Полученные результаты расчетов не превышают допускаемые.

Перв. примеч.

Стр.№

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

50

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР – 15.03.03 ПЗ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бруяка В. А., «Инженерный анализ в ANSYS Workbench»: Учеб. пособ. Самара: СГТУ, 2010 г. 271 с.: ил.
2. Курмаз Л.В. Детали машин. Проектирование: справочное методическо-учеб. пособие / Л. В. Курмаз, А. Т. Скобеда. – 2-е изд., испр. – М.: Новое знание, 2006. – 387 с.
3. Архангельский Г. Г. Основы расчета и проектирования лифтов: учебное пособие / Г. Г. Архангельский, А. А. Ионов ; под общ. Ред. Г. С. Петренко. – Москва: Московский Ордена Трудового Красного Знамени Инженерно-строительный институт, 1985. – 68 с.
4. Волков Д. П. Лифты. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 480 с.: ил.
5. Архангельский Г.Г., Вайнсон А. А., Ионов А. А. Эксплуатация и расчет лифтовых установок. – М.: МИСИ, 1980.
6. Полковников В.С., Лобов Н.А., Грузинов Е.В. Монтаж и эксплуатация лифтов. Пятое издание. – М.: Высшая школа, 1987.
7. Шатохина, Л. П. Сопротивление материалов: учеб. пособие / Л. П. Шатохина, Н. А. Чернякова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008. – 124 с.
8. Докшанин, С. Г. Строительная механика машин: учеб. пособие / С. Г. Докшанин, А. Е. Митяев, С. И. Трошин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017.- 208 с.
9. ГОСТ 33984.1-2016 (EN 81-20:2014) Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке. Лифты для транспортирования людей или людей и грузов (с Поправкой), ГОСТ от 21 марта 2017 года №33984.1-2016.
10. ГОСТ 8240-97 Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент (с изменением N1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://www.docs.cntd.ru>.
11. ГОСТ 8239-89 Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://www.docs.cntd.ru>.
12. ГОСТ 5746-2015 (ISO 4190-1:2010) Лифты пассажирские. Основные параметры и размеры [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://www.docs.cntd.ru>.
13. ГОСТ 33984.4-2017 Лифты. Методы расчеты основных несущих узлов лифта [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://www.docs.cntd.ru>.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.03 ПЗ

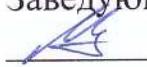
Лист

51

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

институт  
**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА**  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 А.Е. Митяев  
подпись инициалы, фамилия  
«9 » июля 2019 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.03 Прикладная механика

Расчет элементов шахты лифта при монтаже и эксплуатации лифтов типа ЛП

Руководитель



08.07.19г.  
подпись, дата

доцент, к.т.н.  
должность, ученая степень

А.В. Колотов

Выпускник



08.04.19г.  
подпись, дата

А.О. Бобылев

Красноярск 2019