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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.Е. Митяев
подпись
« 27 » 06 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.03 Прикладная механика

Анализ напряженно-деформированного состояния элементов конструкции подъемника скелетона

Пояснительная записка

Руководитель	_____ подпись, дата	доцент, к.т.н. должность, ученая степень	Д.Е. Груздев
Выпускник	_____ подпись, дата		В.Г.Крисюлявичус
Нормоконтролер	_____ подпись, дата	доцент, к.т.н. должность, ученая степень	Д.Е. Груздев

Красноярск 2016

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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Прикладная механика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.Е. Митяев
(подпись)
« 27 » 06 2016 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту (ке) *Крисюлявичус Виктор Геннадьевич*

Группа *МТ 12-05Б* Направление (специальность) *15.03.03 «Прикладная механика»*

Тема выпускной квалификационной работы: *Проектирование устройства подъемника скелетона*

Утверждена приказом по университету № 5238/с от 15 апреля 2016
Руководитель ВКР *Д.Е.Груздев доцент, к.т.н. «Прикладная механика»*

Исходные данные для ВКР
Технические данные тележки , редуктора , направляющих

Перечень разделов ВКР

1) *Обзор существующих подъемников*
2) *Конструирование и расчет тележки и направляющих*
3) *Определение силовых и кинематических параметров привода транспортирующего устройства*
4) *Схема управления транспортирующего устройства*
5) *Заключение*

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов:

1) *Введение*
2) *Обзор подъемников*
3) *Требования к подъемнику*
4) *Цель и задачи*
5) *Схема подъемного механизма*
6) *Расчет пролета направляющей*
7) *Расчет пролета направляющей МКЭ*
8) *Привод тележки подъемника*
9) *Схема управления*
10) *Модель подъемника*
11) *Выводы*

Руководитель ВКР _____ (подпись) Д.Е. Груздев

Задание принял к исполнению _____ (подпись) В.Г.Крисюлявичус

«27» 06 2016 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения	Примечание
1 Прохождение преддипломной практики	25.04.2016 – 05.06.2016	
2 Анализ собранных материалов	06.06.2016 – 10.06.2016	
3 Работа над теоретической частью проекта	11.06.2016 – 14.06.2016	
4 Работа над практической частью работы	15.06.2016 – 19.06.2016	
5 Оформление графической части работы	20.06.2016 – 22.06.2016	
6 Оформление пояснительной записки	23.06.2016	

Руководитель выпускной
квалификационной работы _____ Д.Е. Груздев
«24» 06 2016 г.

Студент МТ 12-05Б _____ В.Г. Крисюлявичус
«27» 06 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....3
1. Обзор существующих подъемников.....6
1.1.Воздушные подъемники.....8
1.2.Подъемники наземного типа.....9
2. Конструирование и расчет тележки и направляющих.....15
2.1.Расчет прогиба направляющей методом начальных параметров.....16
2.2.Расчет направляющей методом конечных элементов.....23
3. Определение силовых и кинематических параметров привода транспортирующего устройства.....29
4. Схема управления транспортирующим устройством.....33
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....37
6. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....38

ВВЕДЕНИЕ

Прошедшие в г. Сочи XXII Зимние Олимпийские игры способствовали активному вовлечению молодёжи в спорт. Наибольшей популярностью у детей и их родителей пользуются такие виды спорта, в которых российские спортсмены стали победителями и призёрами, а так же новые, малоизвестные и экстремальные виды спорта.

Для занятий скелетоном в Красноярске есть отдельная трасса протяженностью 350 м., принадлежащая специализированой детско-юношеской спортивной школе олимпийского резерва (СДЮСШОР), в основном используются как тренировочные, для начинающих молодых спортсменов.

Рисунок 1 – Трасса для скелетона

Надо отметить, что санный спорт, бобслей и скелетон относятся к техническим видам, так как во время соревнований используются технические устройства, такие как сани, бобы, скелетон. Все эти устройства должны быть изготовлены с учетом требований технического регламента, в котором указаны определенные параметры этих устройств. Так, например, скелетон сделан из стекловолокна и стали, снизу к нему крепятся двое

стальных коньков, а сверху - две ручки. В некоторых моделях «ручками» служат две стороны специального корпуса из стекловолокна, который подгоняется под телосложение конкретного спортсмена. Расположенные спереди и сзади скелетона бамперы играют роль демпферов и защищают скелетониста от ударов о стену ледового желоба. Размеры скелетона - от 80 до 120 см длиной и от 34 до 38 см шириной (расстояние между полозьями). Максимальный вес скелетона - 43 кг для мужчин и 35 кг для женщин, вес скелетона со спортсменом не должен превышать 115 кг для мужчин и 92 кг - для женщин.

Рисунок 2 – Скелетон

Так как скелетон должен максимально соответствовать весу, росту и форме тела спортсмена и не выходить за пределы, установленные техническим регламентом, то это делает его весьма дорогостоящим оборудованием. Вследствие вышесказанного, в настоящее время, невозможно обеспечить каждого начинающего спортсмена отдельным скелетоном, по этому начинающим спортсменам приходится заниматься по несколько человек на одном скелетоне, который предоставляется спортивной школой и подбирается при помощи тренера.

Рисунок 3 – Подъем скелетона

Для достижения лучших результатов спортсмен во время тренировки должен выполнить определенное количество заездов, во время которых он отрабатывает разгон, вход в виражи их прохождение и выход из них и т.д.

Кроме того, после каждого заезда спортсмен должен поднять скелетон из желоба и перенести к месту старта. Учитывая, что скелетоны, на которых занимаются юные спортсмены весят 18-20 кг, а расстояние, которое нужно пронести его в гору по узкой заснеженной тропике, достигает 80 м, то подъем скелетона становится трудной и травмоопасной задачей, особенно для девушек.

1. Обзор существующих подъемников

Подъёмник – грузоподъёмная машина, предназначенная для вертикального или наклонного межуровневого перемещения людей и (или) грузов в специальных грузонесущих устройствах (вагоны, кабины, клети, ковши, платформы, скипы, тележки и др.), подвешенных на канатах или цепях и движущихся по жёстким вертикальным (реже наклонным) направляющим или рельсовому пути.

Горнолыжный подъёмник – техническое сооружение в горной местности, предназначенное для подъёма горнолыжников и сноубордистов к месту начала спуска. Используется также для подъёма и спуска туристов

Клетьевые подъёмники (так называемые лифты) предназначены исключительно для вертикального перемещения грузов и людей в клети, движущейся в жестких направляющих. Они имеют большое применение в различных промышленных предприятиях, а также в магазинах и в жилых домах. Клетьевые подъёмники разделяются на грузовые и пассажирские. Грузовые в свою очередь делятся на собственно грузовые, товаро-пассажирские (грузовые с проводником) и малые товарные (для пищевых предприятий и торговых учреждений). По роду привода они разделяются на электрические, гидравлические и подъёмники с ручным приводом. Наибольшее применение имеют подъёмники с электроприводом.

Скорость движения грузовых подъёмников колеблется в пределах 0,1-1,5 м/сек. Обычные пассажирские подъёмники имеют скорость v = 0,5-3,5 м/сек. Основные данные пассажирских и грузовых электрических подъёмников нормированы по ГОСТ 5745-51 (ГОСТ 5745-51 на 01.10.2015 г. не действует, отменён без замены). Грузоподъёмность пассажирских подъёмников обычно рассчитывается на подъём 0,25-1,5 т; грузовые подъёмники поднимают 0,25-15 т, а малые товарные – 50-100 кг. Основные части клетьевого электрического подъёмника следующие: клеть или кабина,

направляющие устройства для клети, шахта, противовес, органы подвешивания, лебёдка, предохранительные устройства, электроуправление.

Пневматические переносные подъемники – подъёмники с пневматическим приводом, используются вместо талей.

Гидроподъемники – подъёмники с гидравлическим приводом.

Передвижные подъемники применяются главным образом на складах для укладывания в штабели массовых штучных грузов. Кроме того, они используются также и для некоторых погрузочных работ. Передвижные подъемники подразделяются на несамоходные (штабелеукладчиками) и на самоходные.

Несамоходные подъемники изготовляются не только с электроприводом подъемного механизма, но также и с пневматическим или гидравлическим приводом, а при небольшой грузоподъемности – и с ручным механизмом, подъема. Грузоподъемность штабелеукладчиков находится обычно в пределах 250 – 1000 кг при высоте подъема до 5 м. В последнее время все большее и большее распространение получают самоходные подъемники, установленные как на универсальных моторных тележках (на так называемых электро-, пневмо- или автокарах), так и на специализированном колесном ходу с использованием ряда стандартных автомобильных узлов и деталей. Грузоподъемность их редко превышает 5 т при высоте подъема до 5 м. Самоходные подъемники (автопогрузчики) изготовляются с различными захватными органами, соответствующими форме поднимаемых грузов (вилочный погрузчик).

Одноступенчатые лестничные подъемники грузоподъемностью 250 кг, способны развивать скорость до 30 м/мин и более. Они избавят от необходимости возведения строительных лесов и предназначены для подъема на крышу различных строительных материалов, будь то черепица, сланец, кирпич или другие мелкоштучные материалы для строительства

верхних этажей и кровли. Многофункциональность таких подъемников позволяет поднимать и другие грузы – крупнолистовые материалы, доски, ведра с раствором и т.д.

Для подъема людей на гору применяют два основных класса горнолыжных подъёмников:

- Воздушные – подъёмники, с помощью которых осуществляется подъём людей в кабинах или креслах, подвешенных к тросу, с отрывом от земной поверхности.
- Наземные – подъёмники, с помощью которых осуществляется подъём людей без отрыва от земной поверхности.

1.1 Воздушные подъемники

В зависимости от того, каким образом люди с помощью подъёмника перемещаются по воздуху, различают:

- Кресельные подъёмники
- Подъёмники гондольного типа
- Комбинированные подъёмники

Кресельные подъёмники

На кресельных подъёмниках люди поднимаются в креслах, которые постоянно прикреплены к тросу. Посадка и высадка производится без остановки движения кресел.

В зависимости от количества мест в подвешенных к тросу кресел различают одноместный, двухместный и четырехместный кресельный подъемник.

Рисунок 4 – Четырёхместный кресельный подъёмник

Рисунок 5 – Однокресельный подъёмник

1.2 Подъёмники гондольного типа

Различают два типа воздушных подъёмников гондольного типа:

- Маятниковые (двустороннего движения). Движение кабины, постоянно прикреплённой к тросу, производится в обе стороны. На прямой и обратной ветке троса постоянно подвешены две кабины, которые при движении по основному несущему тросу двигаются навстречу друг другу. Подходя к причальной платформе кабины замедляют ход и останавливаются для высадки и посадки людей.

Рисунок 6 – Горнолыжный подъёмник гондольного типа

- Одностороннего движения. В данного типа подъёмниках движение подвешенных к тросу кабин (гондол) осуществляется все время в одну сторону аналогично кресельным подъёмникам. Количество одновременно движущихся гондол зависит от длины троса. Для посадки и высадки людей существует специальное устройство, замедляющее движение кабины в зоне высадки и посадки.

Рисунок 7 – Маятниковая канатная дорога

Наземные подъемники

Бугельные подъёмники

В данном типе подъёмника движение горнолыжника вверх производится на бугеле, который крепится к тросу.

Рисунок 8 – Бугельный подъёмник

Бугели бывают разного типа:

- в виде Т-образной перекладины
- в виде тарелки

На Т-образной перекладине возможно движение вдвоём. На тарелкообразной, круглой перекладине сидит один человек. В месте посадки горнолыжник берётся рукой за бугель и садится на перекладину, стоя на лыжах. За счёт движения троса его начинает тащить вверх. При подъёме к месту высадки он отпускает бугель и отходит в сторону

Ленточный подъёмник

Данный подъёмник представляет собой ленточный конвейер – движущуюся гибкую дорожку (англ. *Magic Carpet – «волшебный ковёр»*). Для данного подъёмника не требуются опоры. Это устройство для подъёма

горнолыжников используется в качестве детского подъёмника или в закрытых помещениях при некрутом подъёме. Данным подъёмником могут пользоваться не только лыжники и сноубордисты, но и люди, катающиеся на санках.

Самый длинный в мире ленточный подъёмник длиной 243 м и шириной 600 мм сооружен в немецком городе Виллингене, Зауэрланд.

Рисунок 9 – Ленточный подъемник

Движущийся канат

Иногда на некрутых, недлинных склонах используются движущиеся канаты (тросы). Подъём производится захватом руками этого каната на лыжах аналогично бугельному подъёмнику. Недостатком такого подъёмника является то, что нужны дополнительные усилия для того, чтобы удержаться за канат в процессе движения. Для облегчения подъёма на таких канатах также используется бугель, который каждый носит с собой и цепляет за канат в начале движения. Либо используются небольшие перекладины, прикрепленные к канату, упрощающие удержание в процессе подъёма

Рисунок 10 – Подъём с помощью движущегося троса

Проведенный анализ показал, что существуют ленточные подъёмники (см. рис. 4), применяемые в горнолыжном спорте. Данный подъёмник представляет собой ленточный конвейер – движущуюся гибкую дорожку. Для данного подъёмника не требуются опоры. Это устройство для подъёма горнолыжников используется в качестве детского подъёмника при некрутом подъёме. Данным подъёмником могут пользоваться не только лыжники и сноубордисты, но и люди, катающиеся на санках. Такой подъемник может иметь длину более 100 м. Например, самым длинным в мире является ленточный подъемник в немецком городе Виллингене, имеющий длину 243 м и ширину 600 мм. Однако такой подъемник имеет ряд недостатков, например, он должен располагаться на относительно ровной, имеющей небольшой уклон, площадке (см. рис. 5); механизм привода располагается в земле, что затрудняет его обслуживание; механизм может забиваться снегом или обледеневать вследствие нагрева привода и плохой вентиляции, такой механизм предназначен для длительной непрерывной работы, что повышает расход электроэнергии. В связи с вышесказанным необходимо создать

транспортирующее устройство для доставки скелетона от финиша к месту старта.

Транспортирующее устройство должно:

1. иметь устройство (тележку) на которой закрепляется скелетон;
2. обеспечивать безопасную установку, закрепление и снятие скелетона;
3. обеспечивать перемещение тележки на расстояние 80 м со скоростью 2…2.5 м/с;;
4. иметь привод, обеспечивающий реверсирование движения и автоматическое отключение при достижении транспортирующей тележкой конечной точки;
5. выполнять свое функциональное назначение при температурах от -5 до -25°С;
6. иметь грузоподъемность 40…50 кг;
7. иметь питание двигателя привода от сети переменного тока 220 В;
8. иметь высоту в зонах погрузки и разгрузки не более 40-50 см.

Для обеспечения вышеуказанных требований необходимо:

1. разработать конструкцию транспортирующей тележки и направляющей, по которой она будет перемещаться;
2. определить параметры привода транспортирующего устройства;
3. подобрать схему управления транспортирующим устройством.

2. Конструирование и расчет тележки и направляющих

Исходя из выше проведенного анализа различных типов грузовых и горнолыжных подъемников была разработана схема подъемника для скелетонов представленная на рисунке 11. аналогичная маятниковой канатной дороге. Предполагается, что такой подъемник будет работать следующим образом: после того как скелетон будет извлечен из желоба его закрепляют на тележке 1 затем включают подъемник. Тележка со скелетоном перемещается к месту старта по направляющим 2 при помощи стального троса, который приводится в движение электромеханическим приводом 3. Когда тележка достигнет конечной точки, привод отключается при помощи концевого выключателя. Кроме того данная схема позволяет поднимая нагруженную тележку одновременно опускать пустую.

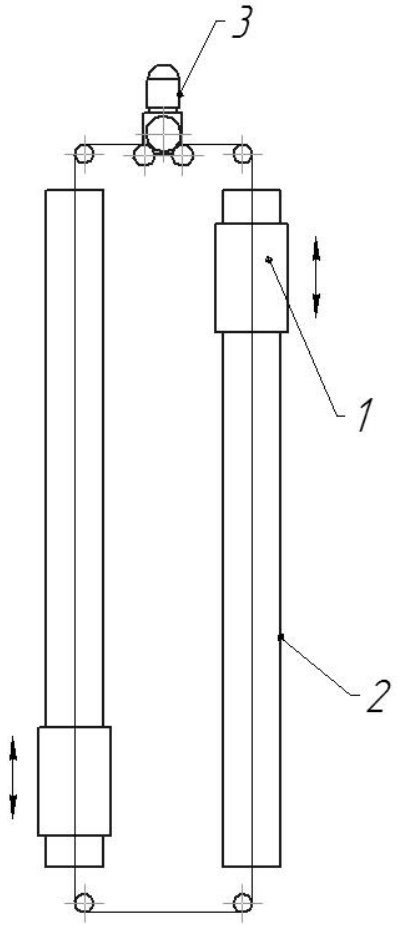


Рисунок 11 – Схема подъемника

Конструкция и грузоподъёмность тележки определяется массовыми и габаритными параметрами спортивного инвентаря (скелетона). Размеры направляющих должны позволять свободно перемещаться тележке без заеданий.

Направляющие (рельсы) выполнены из трубы квадратного сечения 20×20×2 пролетами по 2 м и закрепленными на П-образных опорах.

2.1 Расчет прогиба направляющей методом начальных параметров

При движении тележки нагруженной скелетоном направляющая прогибается от воздействия колес тележки.

Плоский изгиб возникает в том случае, если сосредоточенные силы, моменты, распределенные нагрузки действуют в плоскости, которая совпадает с одной из плоскостей симметрии балки.

При плоском изгибе в каждом сечении балки возникает два внутренних силовых фактора – поперечная сила Q_y и изгибающий момент M_x

Вычисление изгибающего момента и поперечной силы в произвольном сечении производится с помощью метода сечений, то есть путем рассмотрения равновесия отсеченной части стержня.

Для определения величины прогиба направляющей составим расчетную схему см. рисунок 12.

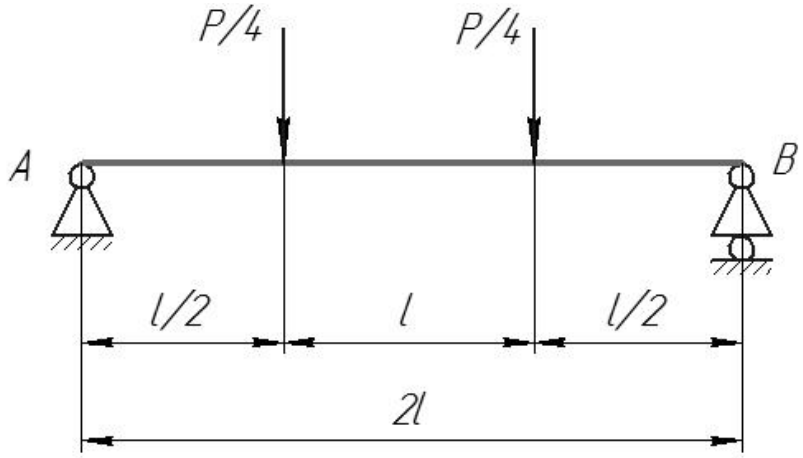
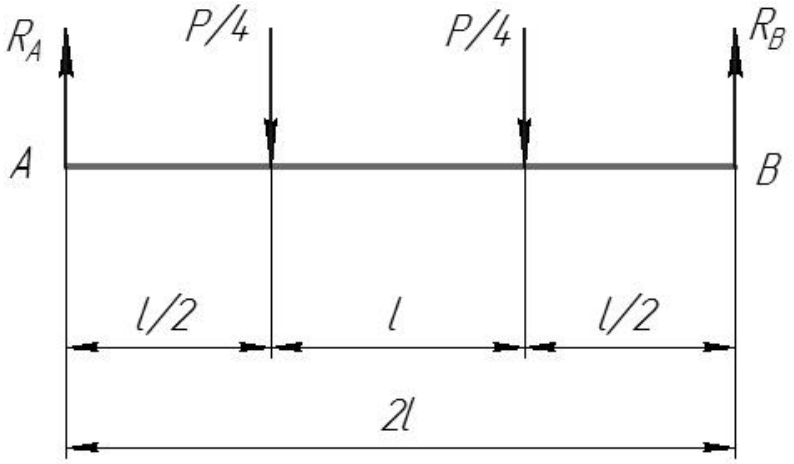


Рисунок 12 – Расчетная схема пролета направляющей

Здесь 2l – длина пролета; P – масса тележки со скелетоном



Заменим опоры реакциями и запишем уравнения равновесия системы сил. Суммы моментов всех сил вокруг точки А:

$$\sum M_A = 0 \qquad R_B \cdot 2l - \frac{P}{4} \cdot \frac{l}{2} - \frac{P}{4} \cdot \frac{3l}{2} = 0,$$

отсюда

$$R_B = \frac{\frac{P}{4} \cdot \frac{l}{2} + \frac{P}{4} \cdot \frac{3l}{2}}{2l} = \frac{P}{4}.$$

Суммы моментов всех сил вокруг точки В:

$$\sum M_B = 0 \qquad -R_A \cdot 2l + \frac{P}{4} \cdot \frac{3l}{2} + \frac{P}{4} \cdot \frac{l}{2} = 0$$

отсюда

$$R_A = \frac{\frac{P}{4} \cdot \frac{3l}{2} + \frac{P}{4} \cdot \frac{l}{2}}{2l} = \frac{P}{4}$$

Проверка:

$$\sum Y = R_A - \frac{P}{4} - \frac{P}{4} + R_B = 0$$

Запишем выражения поперечных сил и изгибающих моментов. При этом используем правило знаков

Правила знаков

1. Поперечные силы считаются положительными, если они стремятся повернуть элемент по часовой стрелке (рис. 25, *а*).

2. Изгибающий момент считается положительным, если элемент бруса изгибается выпуклостью вниз (рис. 25, *б*).

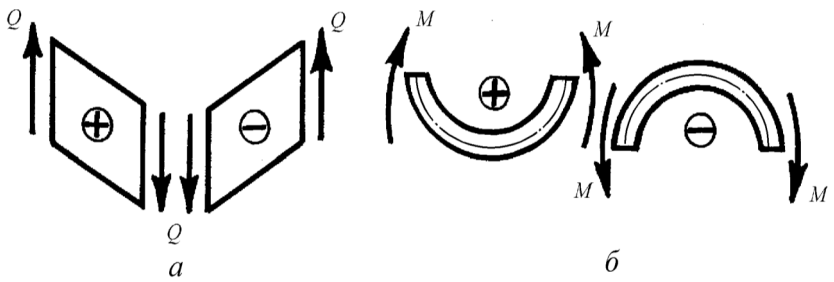


Рисунок 13 – Поперечные силы и изгибающие моменты

Между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки существуют дифференциальные зависимости, которые используют для контроля правильности построения эпюр M и Q

$$\frac{dQ}{dz} = q; \ \frac{dM}{dz} = Q; \ \frac{d^2M}{dz^2} = q$$

1. Если на участке отсутствует распределенная нагрузка, то поперечная сила постоянна, а изгибающий момент изменяется по линейному закону.

2. Если на участке поперечная сила $Q > 0$, то изгибающий момент возрастает. Если $Q < 0$, то изгибающий момент убывает.

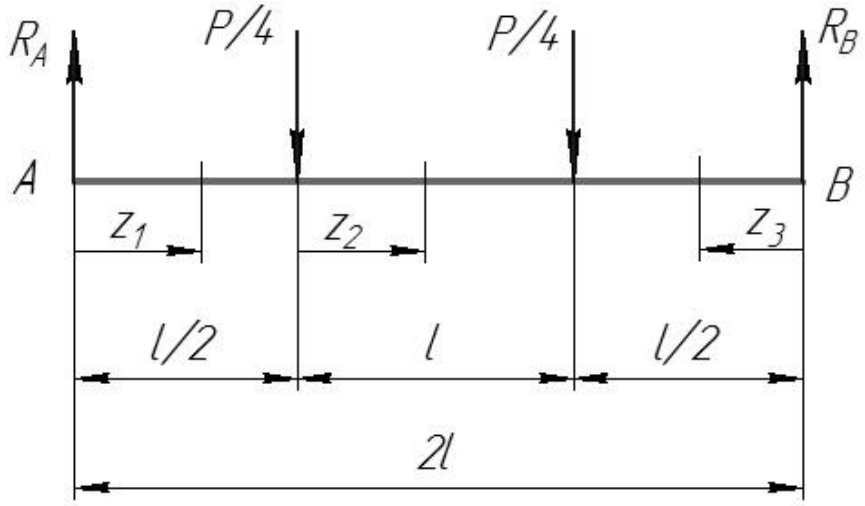
3. Если на участке имеется равномерно распределенная нагрузка, то поперечная сила меняется по линейному закону, а изгибающий момент - по закону квадратной параболы. При этом парабола всегда обращена выпуклостью навстречу распределенной нагрузке.

4. Если сила Q на участке меняет знак с плюса на минус, то в сечении, где поперечная сила равна нулю, изгибающий момент достигает

максимального значения. Если сила Q на участке меняет знак с минуса на плюс, то в сечении, где поперечная сила равна нулю, изгибающий момент достигает минимального значения.

5. В сечении, где приложена внешняя сосредоточенная сила, перпендикулярная к оси элемента, эпюра Q имеет скачок направленный в сторону внешней силы и равный по модулю этой силе, а эпюра M – излом (смежные участки эпюры не имеют плавного сопряжения).

6. В сечении, где приложен внешний сосредоточенный момент, эпюра M имеет скачок на величину этого момента.



Находим поперечные силы Q и изгибающие моменты M на каждом участке:

Участок 1 $$Q_1 = R_A = \frac{P}{4}$$

Участок 2 $$Q_2 = R_A - \frac{P}{4} = 0$$

Участок 3 $$Q_3 = -R_B = -\frac{P}{4}$$

Момент участка 1 $$M_1 = R_A \cdot Z_1$$

при $z_1 = 0$ $\quad M_1 = 0$

$$z_1 = \frac{l}{2} \qquad M_1 = \frac{pl}{8}$$

Момент участка 2 $\qquad M_2 = R_A \cdot \left(\frac{l}{2} + Z_2 \right) - \frac{P}{4} \cdot Z_2$

при $z_2 = 0 \qquad M_2 = \frac{pl}{8}$

$$z_2 = l \qquad M_2 = \frac{pl}{8}$$

Момент участка 3 $\qquad M_3 = R_B \cdot Z_3$

при $z_3 = 0 \qquad M_3 = 0$

$$z_3 = \frac{l}{2} \qquad M_3 = \frac{pl}{8}$$

Строим эпюры Q и M см. рисунок 14

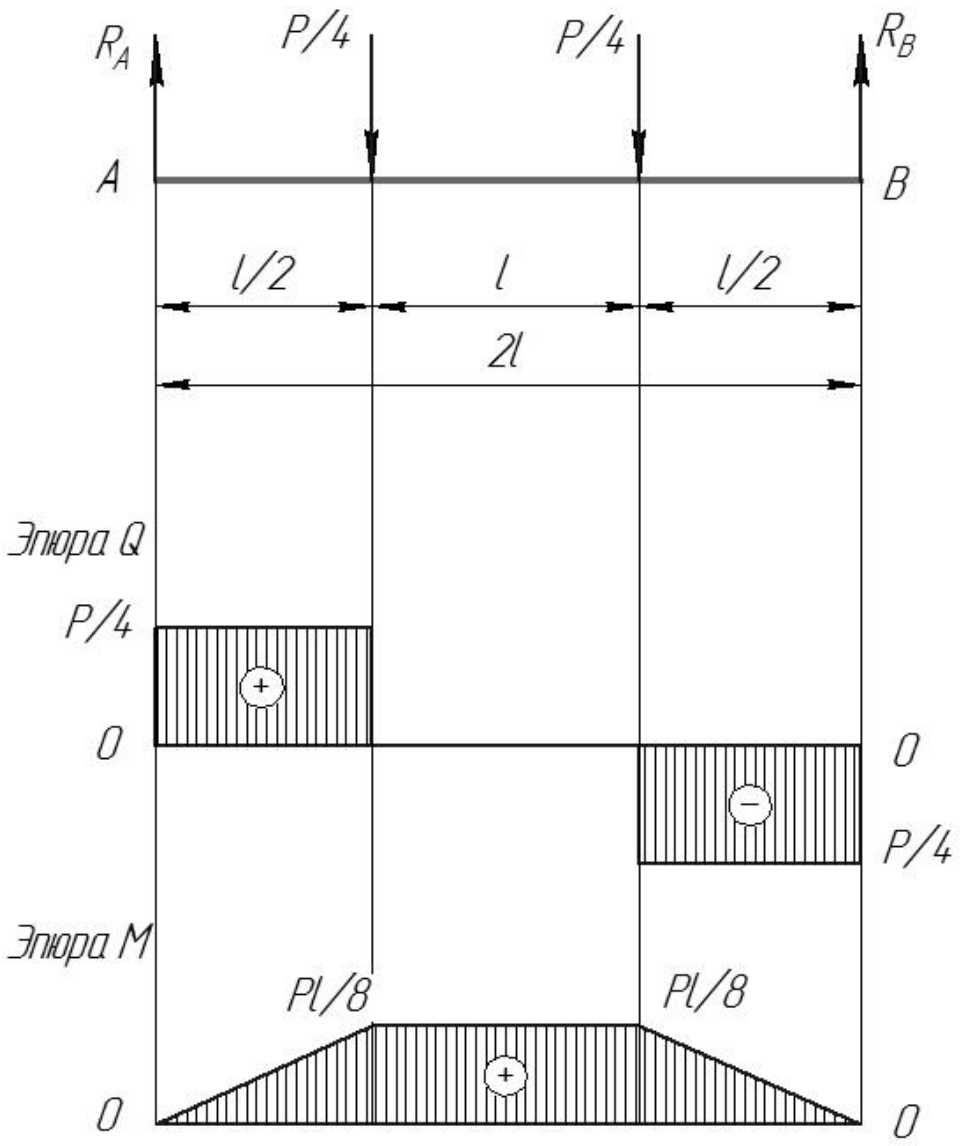


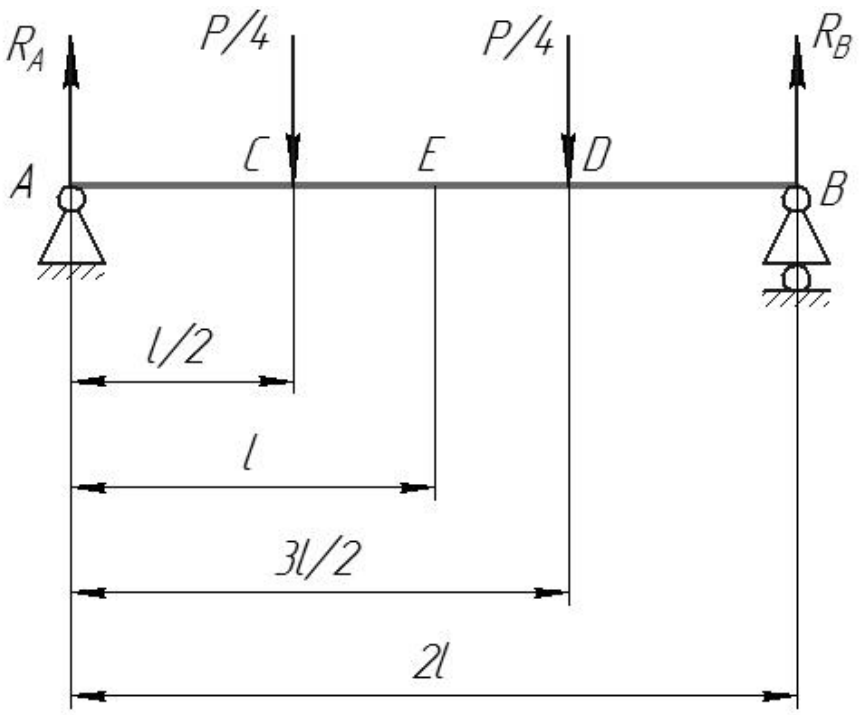
Рисунок 14 – Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

Теперь можно определить величину прогиба направляющей методом начальных параметров.

Начальными параметрами называются значения усилий и перемещений в сечении балки, принятом за начальное при отсчёте по оси абсцисс: другими словами, это значение ординат эпюр при $z = 0$

Начальные параметры:

$y_A = 0$ и $Q_A = 0$



Неизвестную величину найдем из условия, что $y_B = 0$

$$y_B = y_A + Q_A \cdot 2l + \frac{1}{EI}\left[R_A \cdot \frac{(2l)^3}{6} - \frac{P}{4} \cdot \frac{(3l)^3}{6} - \frac{\frac{P}{4} \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^3}{6}\right] = 0$$

$$Q_A \cdot 2l + 3Pl^3 / 16EI = 0$$

$$Q_A = -\frac{3Pl^2}{32EI}$$

Прогибы в точках *C*, *E*, *D*

$$y_C = y_A + Q_A \cdot \frac{l}{2} + \frac{1}{EI}\left[\frac{R_A\left(\frac{l}{2}\right)^3}{6}\right] = -\frac{3Pl^3}{64EI} + \frac{P \cdot l^3}{4 \cdot 8 \cdot 6} = -\frac{Pl^3}{24EI}$$

$$y_E = y_A + Q_A \cdot l + \frac{1}{EI}\left[R_A \cdot \frac{l^3}{6} - \frac{P}{4} \cdot \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^3}{6}\right] = -\frac{3 \cdot Pl^3}{32EI} + \frac{1}{EI}\left[\frac{P}{4} \cdot \frac{l^3}{6} - \frac{P}{4} \cdot \frac{l^3}{48}\right] = -\frac{11Pl^3}{192EI}$$

$$y_D = y_A + Q_A \cdot \frac{3l}{2} + \frac{1}{EI}\left[R_A \cdot \frac{\left(\frac{3l}{2}\right)^3}{6} - \frac{P}{4} \cdot \frac{l^3}{6}\right] = -\frac{Pl^3}{24EI}$$

Эпюра прогибов

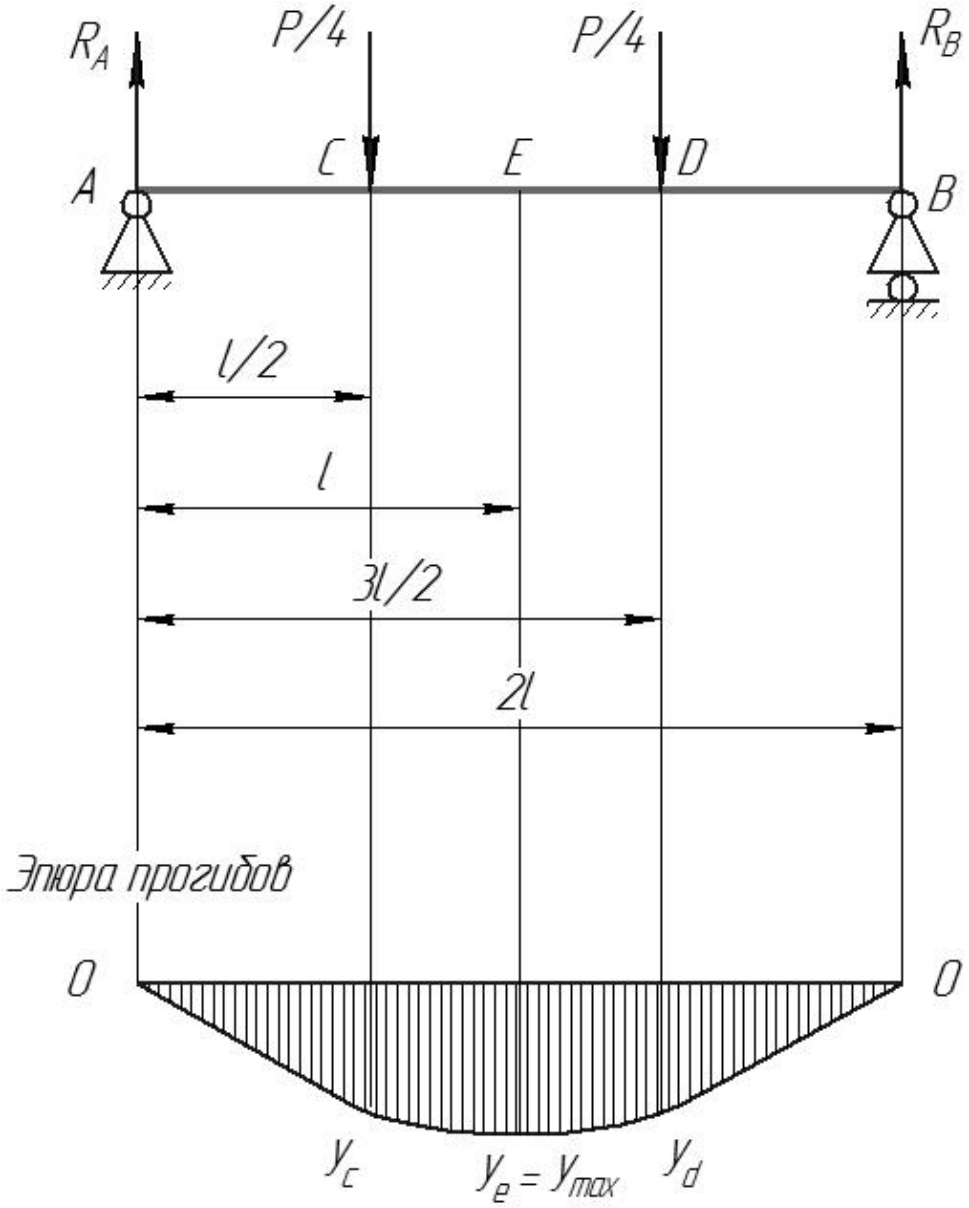


Рисунок 15 – Эпюра прогиба направляющей

$$y_{max} = \frac{11Pl^3}{192EI}$$

Подставляем наши данные в это уравнение, получаем:

$$y_{max} = \frac{11Pl^3}{192EI} = \frac{11 \cdot 400 \cdot 0,76^3}{192 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot I},$$

где I – осевой момент инерции;
E – модуль упругости.

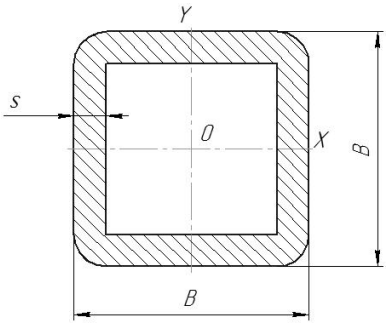


Рисунок 16 – Квадрат тонкостенный полый

$$I = \frac{FB^2}{6}$$

где F – площадь сечения

$$F = 4B \cdot s = 4 \cdot 20 \cdot 2 = 160 \text{ мм}$$

где B – длина стороны сечения квадратной трубы;

s – толщина стенки квадратной трубы ,

тогда момент инерции сечения будет равен

$$I = \frac{16 \cdot 2^2}{6} = 10,67 \text{ см}^4$$

$$y_{max} = \frac{11 \cdot 400 \cdot 0.76^3}{192 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1.06 \cdot 10^{-7}} = 4.75 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

2.2 Расчет направляющей методом конечных элементов

Для проверки правильности проектирования и расчетов в программном продукте SolidWorks, была выполнена 3D-модель скелетона, тележки, направляющих и опор.

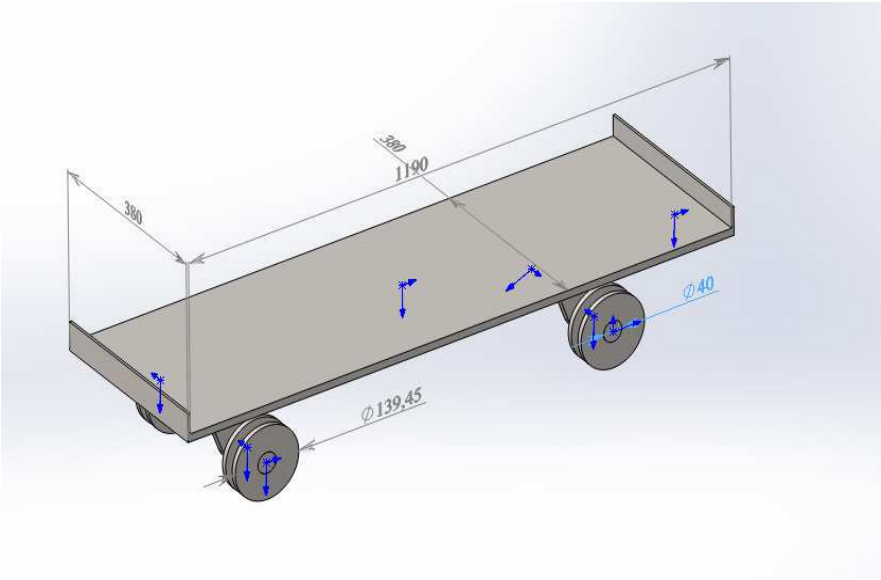


Рисунок 17 – Модель тележки для скелетона

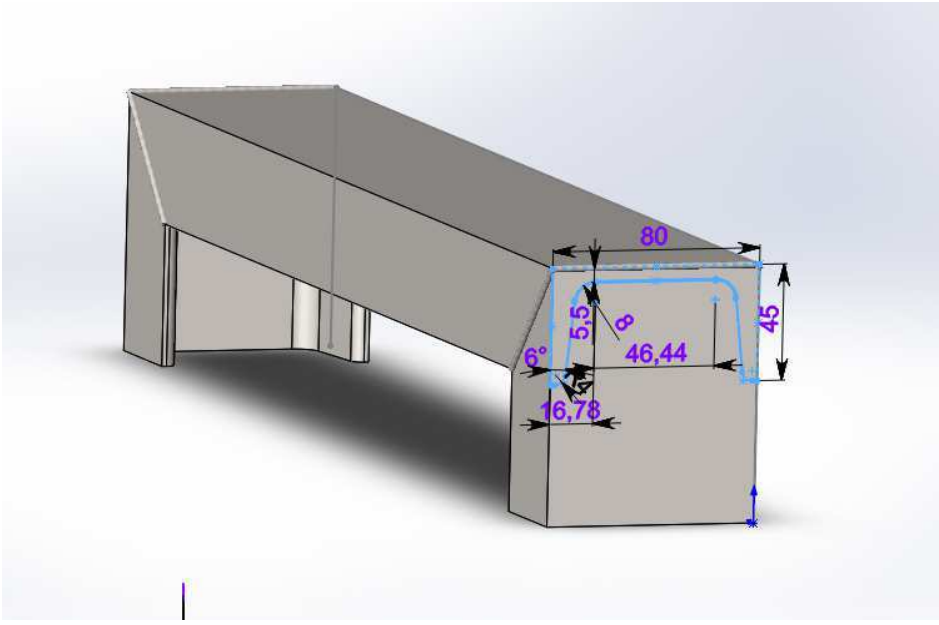


Рисунок 18 – П-образная опора

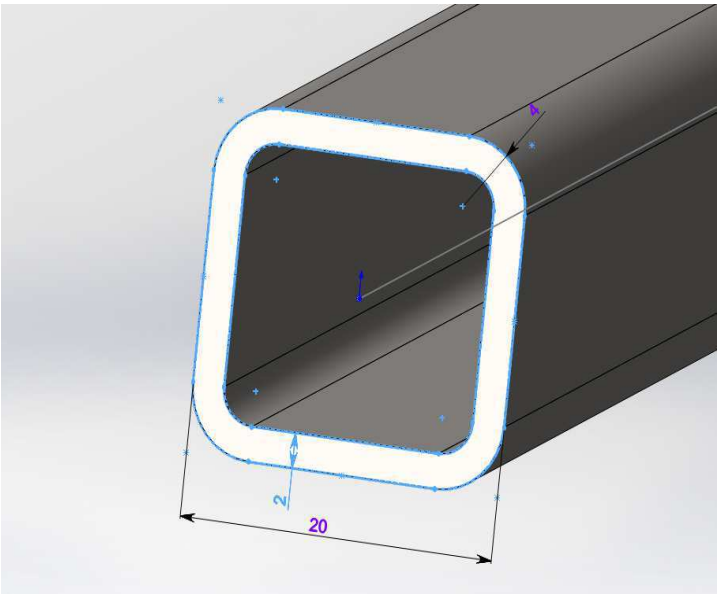


Рисунок 19 – Направляющая (квадратная труба)

3D –модель нагружалась распределенной силой и собственным весом, результаты расчетов представлены на рисунках 21 – 23.

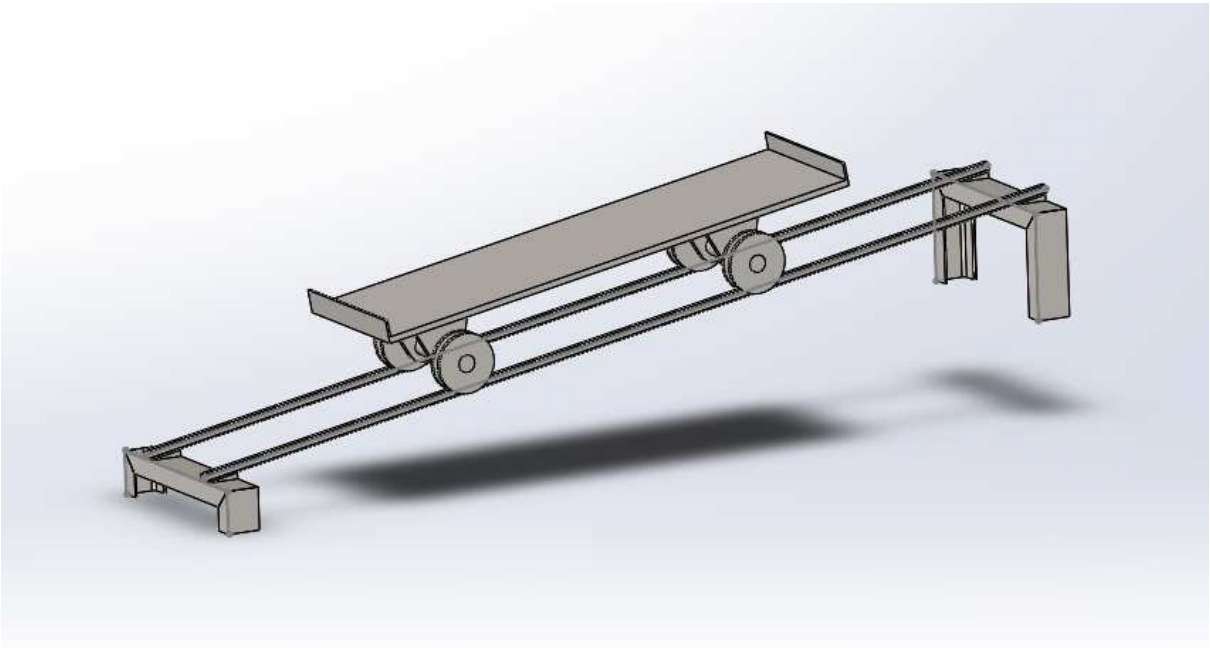


Рисунок 20 – Исходная модель пролета направляющей

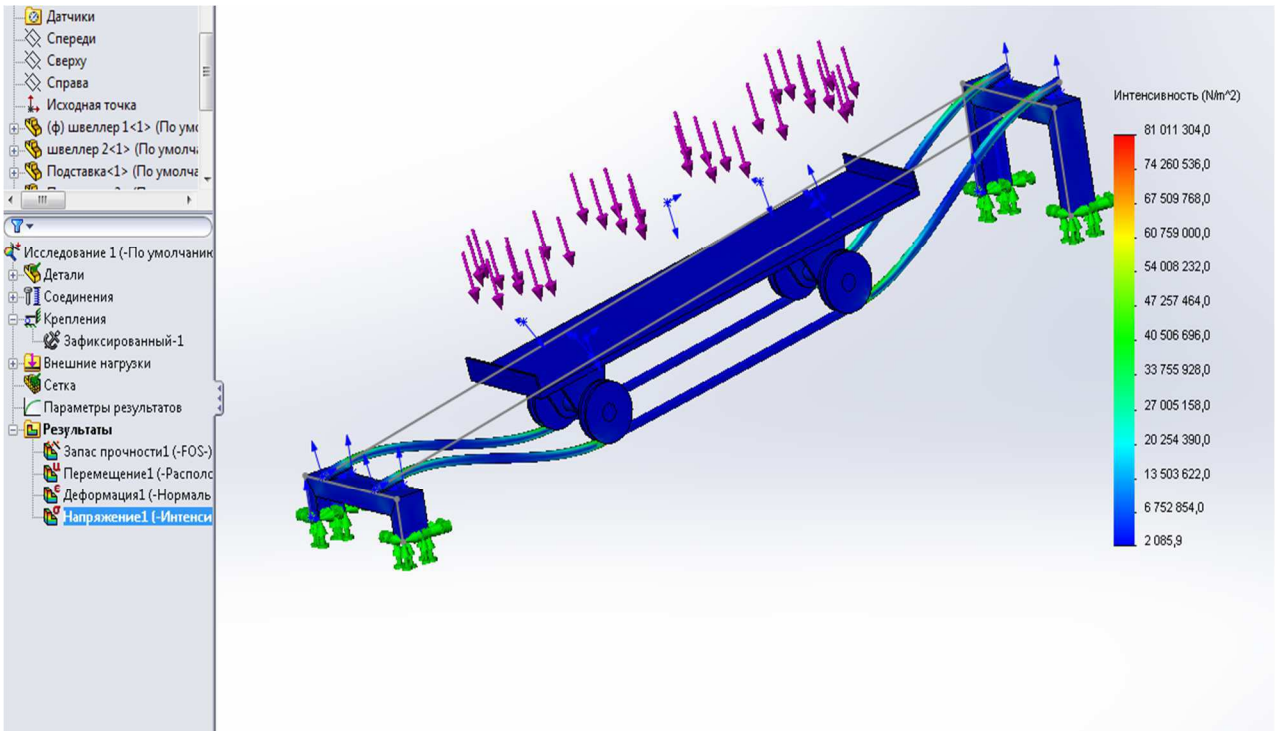


Рисунок 21 – Напряжения в направляющих

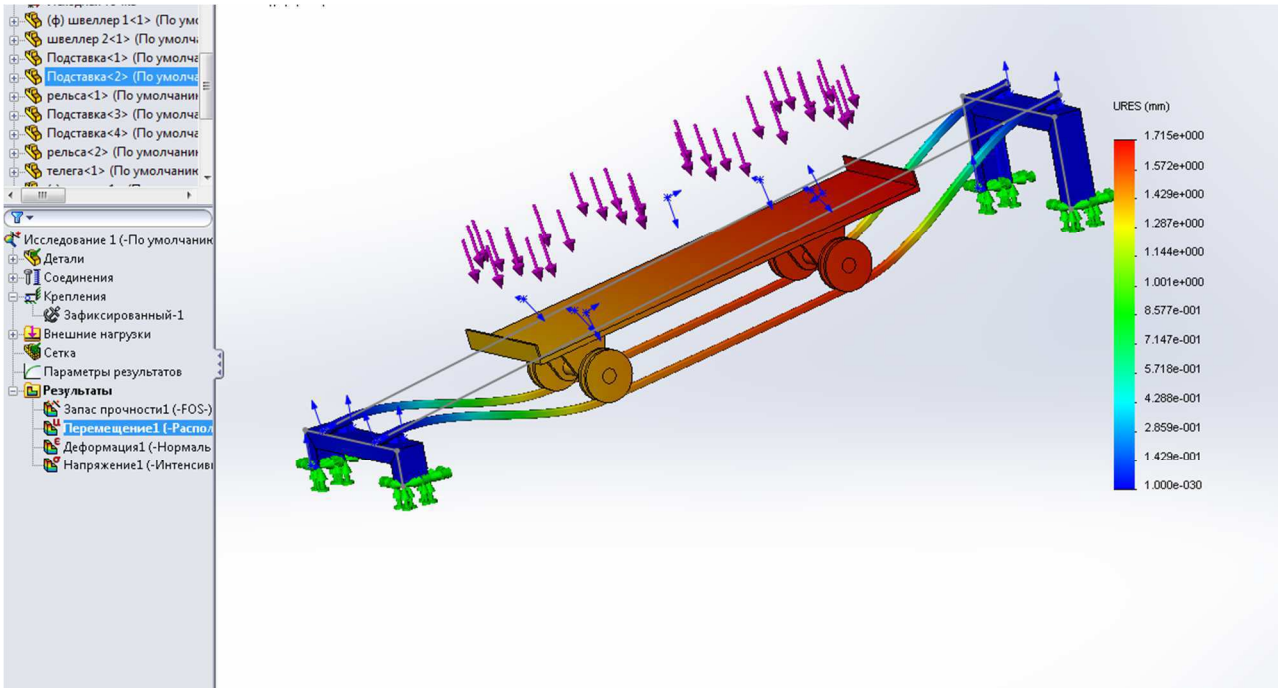


Рисунок 22 – Перемещения в направляющих

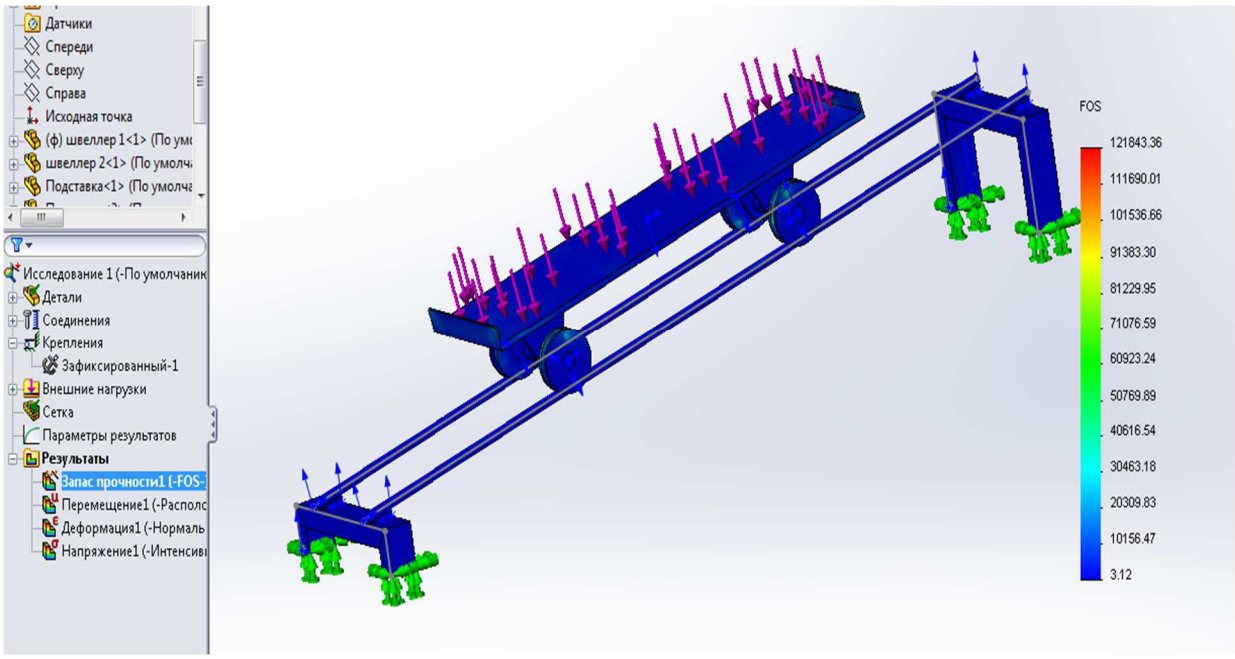


Рисунок 23 – Запас прочности пролета

3. Определение силовых и кинематических параметров привода транспортирующего устройства

Учитывая требования по скорости перемещения тележки, величине перемещаемой массы тележки с установленным скелетоном определим, параметры привода подъемника.

Угловая скорость ведущего ролика:

$$\omega_p = \frac{2V}{D_p} = \frac{2 \cdot 2}{0.3} = 13 \text{ с}^{-1}$$

где V – скорость тележек со скелетоном;

D_p – диаметр ведущего ролика;

тогда число оборотов барабана:

$$n_{вых} = n_p = \frac{30 \cdot \omega_p}{\pi} = \frac{30 \cdot 13}{3.14} = 124.2 \text{ об/мин};$$

Определим кинематические параметры редуктора для обеспечения необходимой частоты вращения ведущего ролика. Ориентировочно зададимся передаточным числом редуктора $u_{ред} = 8$. Далее определим частоту вращения вала электродвигателя:

$$n_{дв} = n_{вых} \cdot u_{общ} = 124.2 \cdot 8 = 993.6 \text{ об/мин};$$

Определим мощность электродвигателя

$$P_{дв} = \frac{P_{вых}}{\eta_{общ}}$$

где $P_{вых}$ – мощность на выходном валу редуктора;

$\eta_{ред}$ – КПД редуктора.

Для того чтобы определить мощность на выходе необходимо определить момент на выходном валу редуктора.

Момент на выходном валу:

$$T_{вых} = F_c \cdot r_p;$$

где F_c – сила сопротивления движению,

r_p – радиус ролика (r_p = 0.15 м).

$$T_{вых} = 650 \cdot 0.15 = 97.5 \approx 100 \text{ Нм}$$

Мощность на выходном валу:

$$P_{вых} = T_{вых} \cdot \omega_{вых} = 100 \cdot 13 = 1300 \text{ Вт}$$

Потери механической энергии выразим через КПД подшипников:

$$\eta_{общ} = \eta_{ред} \cdot \eta_{пп}^{к};$$

здесь $\eta_{ред}$ – КПД редуктора,

$$\eta_{ред} = \eta_p^3 \cdot \eta_{пп}^3 = 0.8 \ \cdot 0.99^2 = 0.86;$$

$\eta_{пп}^{к}$ – КПД подшипников колес тележек и роликов;

$$\eta_{общ} = 0.86 \cdot 0.99^2 = 0.84;$$

$$P_{дв} = \frac{1300}{0.84} = 1548 \text{ Вт}$$

Подберем электродвигатель ближайший по числу оборотов вала и мощности

По требованиям безопасности во время остановки привода с тележками в крайних положениях или при аварийной остановке, предлагается использовать электродвигатель со встроенным механическим тормозом вала.

Двигатели с тормозом необходимы также во всех случаях, когда требуется точность и повторяемость остановки привода. Их необходимо использовать во всех приводах с высокой линейной скоростью во избежание поломок оборудования после отключения двигателя при движении по инерции.

Использование механического торможения вместо электрического выгодно тем, что тепло выделяемое в процессе торможения рассеивается не двигателем, а тормозным устройством, поэтому двигатель нагревается меньше, и частота циклов может быть повышена.

Тормозное устройство располагается со стороны, противоположной выступающему кольцу вала, и осуществляет быстрое торможение при отключении питания. При подаче напряжения на двигатель происходит его растормаживание.

Тормозная система приводится в действие магнитом постоянного тока, который питается от сети через выпрямитель, расположенный в корпусе

Таким образом выбираем электродвигатель

АИС 112 М6ЕК $P_{дв}$ = 2.2 кВт, $n_{дв}$ = 935 об/мин

Данный электродвигатель снабжен дисковым тормозом без аксиального движения ротора, питается от постоянного или переменного тока и предназначен:

– для эксплуатации без смазки с постоянным крутящим моментом в двух направлениях вращения.

– для привода в движение механизмов, где по условиям технологического процесса требуется быстрая остановка после отключения питания.

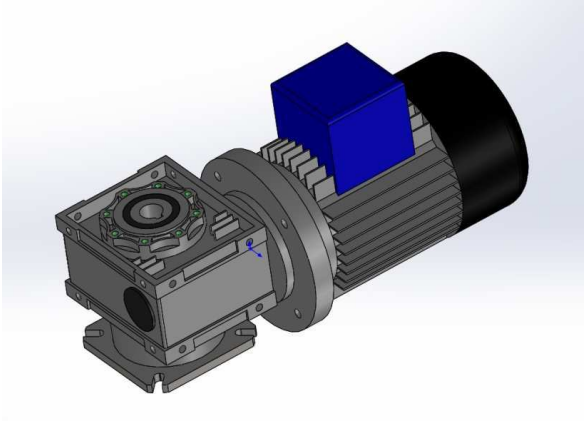


Рисунок 24 – Червячный мотор-редуктор

4. Схема управления транспортирующим устройством

Управление электродвигателем привода должно обеспечивать реверсирование с ручное включением движения на обоих концах подъемника и автоматическое выключение, и удержание при достижении тележкой любого крайнего положения. Схема управления приведена на рис. 6.

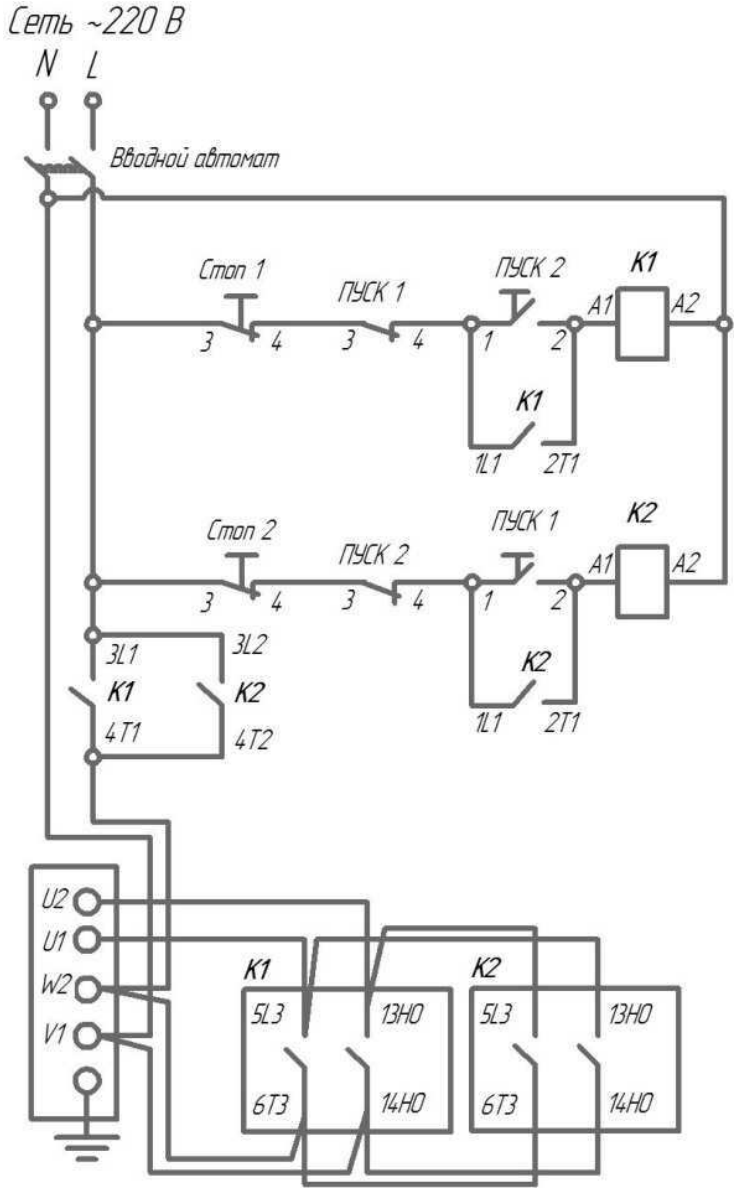


Рисунок 25 – схема реверсирования электродвигателя привода

Для запуска привода подъемника в прямом направлении должна быть нажата кнопка «ПУСК 1» см. рис. 6 при этом катушка контактора К1

получает питание и замыкает все свои нормально-открытые контакты. Кнопку удерживать не нужно, т.к. катушка контактора К1 встает на «самоподхват» через свои нормально-открытые контакты. Двигатель привода начинает вращаться в прямом направлении, поднимая тележку со скелетоном.

Достигая конца подъемника тележка нажимает на кнопку «СТОП 1», которая представляет собой концевой выключатель.

При нажатии на кнопку «ПУСК 2» катушка контактора К2 получает питание. Контактор К2 срабатывает и замыкает свои нормально-открытые контакты. Катушка контактора К2 встает на «самоподхват». Двигатель начинает вращаться в обратном направлении, опуская тележку. Останов двигателя происходит ка и в первом случае через концевой выключатель «СТОП 2».

Представленная схема реверса имеет блокировку кнопок. Если при включенном двигателе в прямом направлении будет ошибочно нажата кнопка «ПУСК 2», то вначале отключится контактор К1, а потом уже сработает контактор К2, и наоборот. Таким образом, мы имеем блокировку от одновременно двух включенных контакторов К1 и К2.

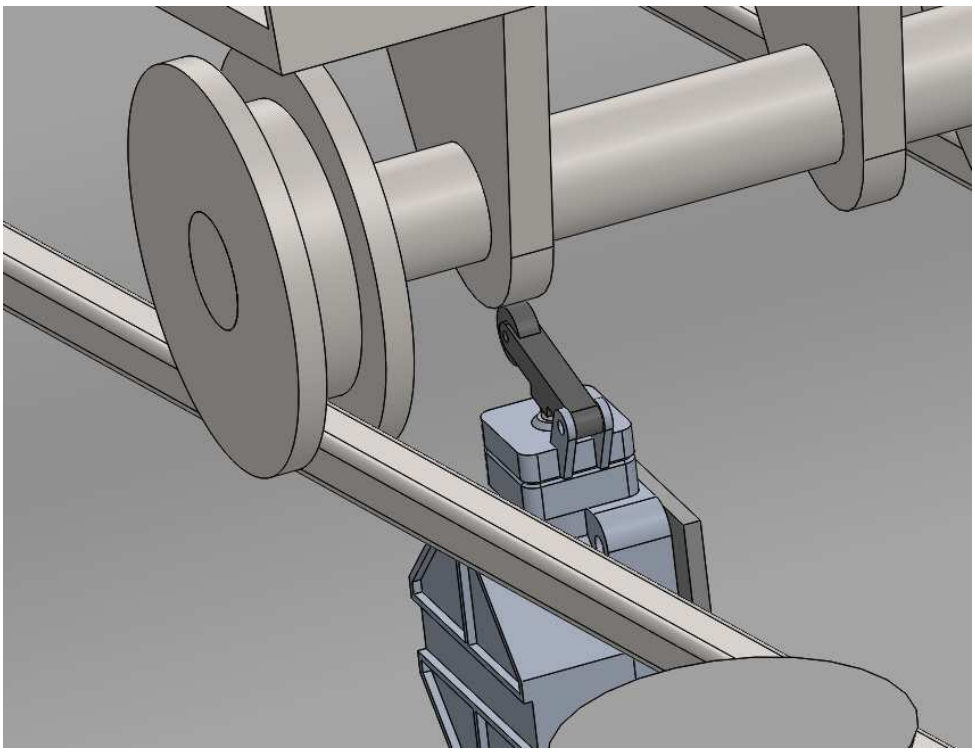


Рисунок 26 – Модель концевого выключателя подъемника

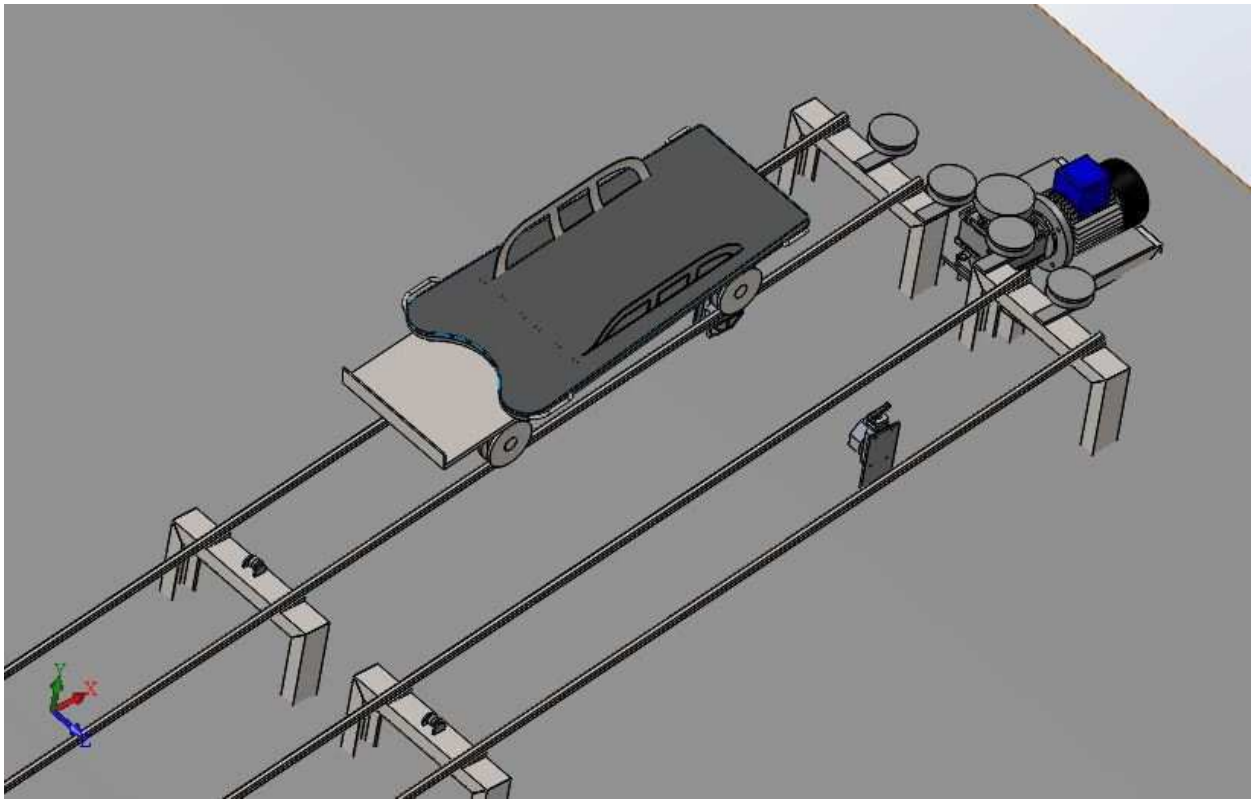


Рисунок 27 – Модель подъемника со скелетоном

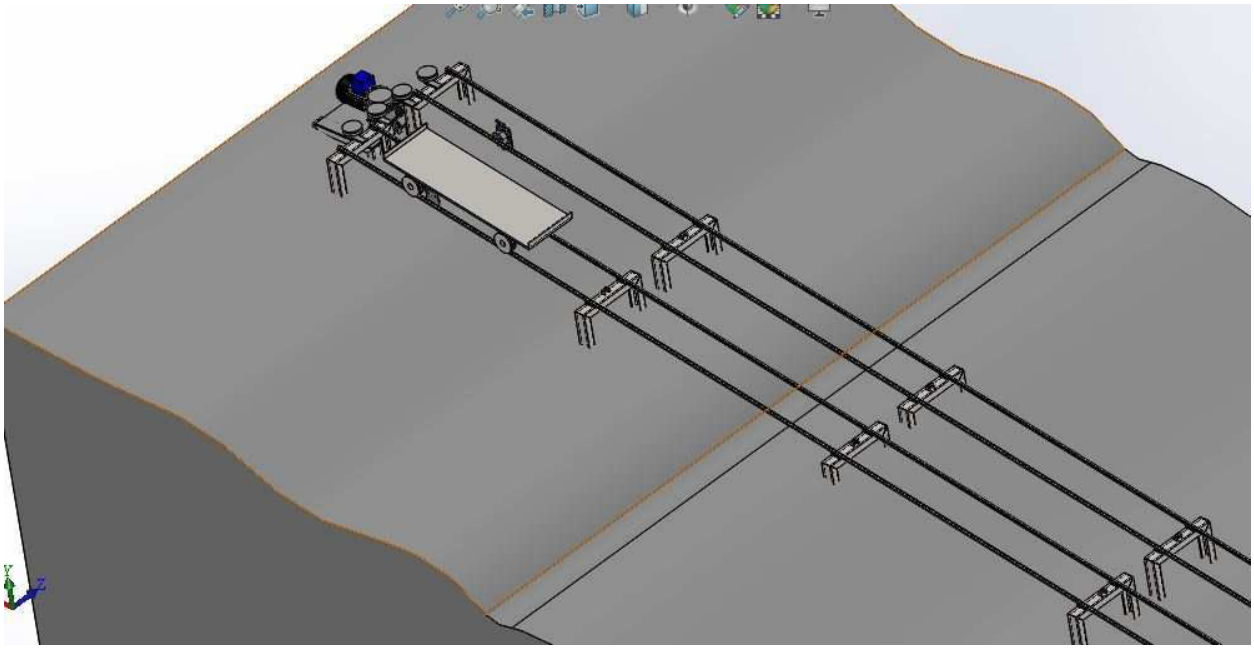


Рисунок 28 – Общий вид подъемника

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана конструкция подъемного устройства для скелетонов в состав которого входят две транспортирующие тележки перемещаемые электромеханическим приводом по направляющим посредством троса
2. Определены параметры привода транспортирующего устройства обеспечивающее перемещение тележки на расстояние 80 м со скоростью 2…2.5 м/с, а также, обеспечивающий реверсирование движения и автоматическое отключение при достижении транспортирующей тележкой конечной точки;
3. Подобран электродвигатель способный запитываться от сети переменного тока 220 В;
4. Привод способен выполнять свое функциональное назначение при температурах от -5 до -25 С;
5. Разработанный привод имеет грузоподъемность 40…50 кг;
6. Подобрана схему управления транспортирующим устройством.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Писаренко Г. С, Яковлев А. П., Матвеев В. В.; Отв. ред. Писаренко Г. С Справочник по сопротивлению материалов /.— 2-е изд., перераб. и доп.— Киев: Наук, думка, 1988.— 736 с.

2 Порошии И.Б. Расчеты на прочность – это просто!: Учебное пособие. —Челябинск: ЮУрГУ, 2005. – 44 с.

3 Александров М. П., Подъёмно-транспортные машины: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. — 6-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 1985.— 520 с.

4 РД 24.090.52-90 Подъемно-транспортные машины. Материалы для сварных металлических конструкций

5 Конвейер / Ридель Э. И. // Кварнер — Конгур. — М. : Советская энциклопедия, 1973. — (Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров ; 1969—1978, т. 12)

6 *Спиваковский А. О.* Ленточный конвейер // Горная энциклопедия / Гл. ред. Е. А. Козловский. — М.: Советская энциклопедия, 1984—1991. — ISBN 5-85270-007-X.

7 Гузенков П. Г. Детали машин: Учеб. для вузов,— 4-е изд. — М.: Высш. шк., 1986 г.

8 ГОСТ 8240-97 Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент

9 ГОСТ 18501-73 Оборудование подъемно-транспортное. Конвейеры, тали, погрузчики и штабелеры. Термины и определения

10 ГОСТ 31591-2012. Мотор-редукторы. Общие технические условия