Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 02.02.2022 10:42:33
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
«17» 01 _____ 2022 г.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЭКЗОСКЕЛЕТ EXOHEAVER: ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ, СБОРКА И РАЗБОРКА

методические указания по выполнению
лабораторно-практической работы
для студентов направления «Мехатроника и робототехника»

Курск 2022

УДК 621.865:621.01:681.5
Составители: А.В. Мальчиков, Е.Н. Политов

Рецензент:
Кандидат технических наук, доцент Юго-Западного государственного университета *Б.В. Лушников*

Промышленный экзоскелет ExoHeaver: изучение конструкции и принципа действия, сборка и разборка: методические указания по выполнению лабораторно-практической работы для студентов направления «Мехатроника и робототехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.В. Мальчиков, Е.Н. Политов. Курск, 2022. 42 с.

Изложено описание конструкции и принципа действия промышленного экзоскелета ExoHeaver, разработанного на кафедре механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета, рекомендации к его использованию, а также методика разборки и сборки его основных конструктивных узлов для проведения практического занятия или лабораторной работы по соответствующей тематике.

Методические указания предназначены для студентов направления «Мехатроника и робототехника».

Методические указания подготовлены в рамках проекта Erasmus+ APPLE (Applied curricula in space exploration and intelligent robotic systems).

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 17.01.2022. . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. 2,4. Уч.-изд.л. 2,2. Тираж 30 экз. Заказ 560. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1. Описание и работа экзоскелета ExoHeaver 6
2. Назначение экзоскелета 12
3. Использование ExoHeaver 24
4 Разборка нижних конечностей промышленного экзоскелета ExoHeaver 29
5 Сборка нижних конечностей промышленного экзоскелета ExoHeaver 35
Контрольные вопросы 41
Библиографический список 42

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: изучить принцип действия и устройство промышленного экзоскелета ExoHeaver, а также отдельных его частей, в частности, нижних конечностей экзоскелета, строение шарниров и других составных частей, научиться осуществлять разборку/сборку нижних конечностей экзоскелета.

Выполнение работы способствует формированию элементов следующих компетенций:

- готовность участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам;
- готовность участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей;
- способность планировать проведение испытаний отдельных модулей и подсистем мехатронных и робототехнических систем, участвовать в работах по организации и проведению экспериментов на действующих объектах и экспериментальных макетах, а также в обработке результатов экспериментальных исследований;
- способность оценивать потенциальные опасности, сопровождающие испытания разрабатываемых мехатронных и робототехнических систем, и обосновывать меры по их предотвращению;
- готовность к организации работы по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, а также по обеспечению предотвращения экологических нарушений;
- готовность к внедрению результатов разработок мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей в производство
- готовность к участию в работах по изготовлению, отладке и сдаче в эксплуатацию мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
- готовность осуществлять проверку технического состояния оборудования, производить его профилактический контроль и ремонт путем замены отдельных модулей

- способность разрабатывать инструкции по эксплуатации используемого технического оборудования и программного обеспечения для технического персонала
- готовность выполнять отладку программно-аппаратных комплексов и их сопряжение с техническими объектами в составе мехатронных и робототехнических систем
- и др.

В результате выполнения работы студент должен:

Знать:

- принцип действия и устройство промышленного экзоскелета ExoHeaver, а также отдельных его частей, в частности, нижних конечностей экзоскелета, строение шарниров и других составных частей

Уметь:

- Надевать экзоскелета, проводить настройку его размеров; осуществлять разборку/сборку нижних конечностей экзоскелета

Владеть:

- Способностью применять экзоскелет в различных режимах и условиях
- Способностью давать рекомендации по дальнейшему использованию и усовершенствованию конструкции и системы управления промышленного экзоскелета

Оборудование: экзоскелет ExoHeaver, гаечный ключ 10 мм, шестигранный ключ 4 мм, шестигранный ключ 5 мм, шестигранный ключ 6 мм, крестовая отвертка, модуль тестирования технологических процессов, комплект грузов и предметов технологической оснастки.

Работа выполнена в рамках проекта Erasmus+ APPLE (Applied curricula in space exploration and intelligent robotic systems).

1. ОПИСАНИЕ И РАБОТА ЭКЗОСКЕЛЕТА EXOHEAVER

1.1 Общее описание

ExoHeaver – промышленный экзоскелет, разработанный на кафедре механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета, обеспечивает снижение физических нагрузок на человека и позволяет улучшить условия труда, снизить травмоопасность и утомляемость при работах с тяжелым ручным инструментом, при поднятии, удержании и переносе грузов.

Экзоскелет позволяет выполнять движения, минимально ограничивая перемещения оператора и снимая часть нагрузки с опорно-двигательного аппарата (в некоторых режимах до 90%), что позволяет оператору экзоскелета работать более длительное время, испытывая меньшие нагрузки.

Изделие **ExoHeaver** является модульным ассистирующим устройством комбинированного типа, включающим как жесткие, так и гибкие связи. Возможны две стандартные комплектации:

ExoHeaver GC (gravitation compensation) **–** промышленный экзоскелет с механическими компенсаторами нагрузки в бедренных шарнирах.

ExoHeaver AE (active electric) **–** промышленный экзоскелет с механическими компенсаторами нагрузки в бедренных шарнирах и с электрической лебедкой – модулем подъема груза.

Наличие механических компенсаторов нагрузки и электрической лебедки позволяет поднимать грузы до 60 кг, при этом значительно снижая нагрузку.

Принцип действия экзоскелета основан на передаче нагрузки с человека на механический силовой каркас, и на компенсации изгибающих моментов в суставах. В ходе выполнения технологических операций нагрузка распределяется по силовому каркасу – это снижает вероятность получения травм поясничного отдела позвоночника, таких как скручивание или смещение дисков.

В конструкции предусмотрены упоры для сидения, что позволяет обеспечивать поддержку оператора в положении сидя. В данном положении экзоскелет действует подобно сиденью.

Параметры базовой версии **ExoHeaver** приведены в таблицах 1.1 – 1.2, представленных ниже.

Таблица 1.1 – Параметры экзоскелетов **ExoHeaver**

Параметр	Характеристики **ExoHeaver GC**	Характеристики **ExoHeaver AE**
Габариты	1,80 x 0,5 x 0,4 (м)	1,80 x 0,5 x 0,4 (м)
Масса	19,5 кг	26,5 кг
Рабочая нагрузка на экзоскелет	40 кг	
Предельно допустимая нагрузка на экзоскелет	60 кг	
Масса оператора	60 – 120 кг	
Рост оператора	1.6 – 1.9 м	
Мощность	–	200 Вт
Напряжение питания	–	17 В
Предельно допустимая нагрузка на модуль подъема	–	60 кг
Длина провода пульта управления	–	180 см
Расстояние между направляющими тросов	46 см	
Длина троса	–	120 см
Возможные типы креплений туловища оператора	мягкий упор спины с жилетом, поясной ремень	
Возможные цветовые схемы оформления	серая основа с элементами черного и желтого цветов	
Типы регулировок длин бедер/голеней и высоты спины	регулировочные винты	
Диапазон ширина таза	40 – 50 см	
Диапазон длины бедер	31 – 41 см	
Диапазон длины голеней	49 – 62 см	

Таблица 1.2 – Материалы экзоскелетов **ExoHeaver**

Узлы и модули экзоскелета	Материал
Силовой каркас экзоскелета	алюминиевый сплав АД31 ГОСТ 4784-97, фторопласт Ф-4 ГОСТ 10007-80 Е, угленаполненный полиамид УПА-6 ТУ 6-12-31-654-89, пластик ABS
Модуль подъёма груза	алюминиевый сплав АМг6 ГОСТ 4784-97, алюминиевый сплав АД31 ГОСТ 4784-97
Шарниры бедер/голеней	алюминиевый сплав Д16Т ГОСТ 4784-97, бронза безоловянная БрАЖ9-4 ГОСТ 18175-78, сталь 40Х ГОСТ 1050-88, сталь Ст3кп ГОСТ 380-2005
Регулировочные элементы бедер/голеней	алюминиевый сплав АД31 ГОСТ 8617-81, угленаполненный полиамид УПА-6 ТУ 6-12-31-654-89, алюминиевый сплав Д16Т ГОСТ 4784-97, сталь Ст3кп ГОСТ 380-2005
Трос модуля подъёма груза	синтетический трос LIPOS-D Pro 01505: материал – Dyneema SK78, диаметр – 3 мм, максимальная нагрузка – 950 кг; по требованию Заказчика экзоскелет может комплектоваться синтетическим тросом LIPOS-D Pro XTR 01514: материал – Dyneema SK99, диаметр – 3 мм, максимальная нагрузка – 1150 кг; особенности тросов: не впитывают воду, обладают хорошей устойчивостью к УФ излучению
Изоляция кабеля пульта	пластифицированный ПВХ
Пульт	пластик ABS
Жилет и ремни	синтетический текстиль

1.2 Способы применения промышленного экзоскелета ExoHeaver

Промышленный экзоскелет **ExoHeaver** применяется для помощи оператору при выполнении следующих задач:

- подъем груза с пола или с опоры за счет сгибания/разгибания туловища в тазобедренном суставе;
- удержание массивных элементов конструкций при их монтаже или фиксация деталей при сборке узлов и агрегатов;
- удержание инструмента при выполнении работ;
- опускание груза с опоры, за счет сгибания/разгибания туловища в тазобедренном суставе;
- перенос груза на небольшие расстояния.

1.3 Схема устройства

Конструктивно **ExoHeaver** повторяет скелет человека. Металлические звенья аппарата соединяются посредством шарниров, каждый из которых имеет разное число степеней подвижности (рисунок 1.1). Шарнирное соединение бедра с корпусом, как и у человека, имеет три степени свободы. Оно может вращаться вокруг двух горизонтальных осей: «вперед-назад» и «отведение-приведение», а также – вокруг вертикальной оси.

Голень соединяется с бедром цилиндрическим шарниром с единственной осью вращения. Стопа заменена гибким упором, воспринимающим вес экзоскелета и груза, при этом снижая риск получения человеком травм голеностопного сустава.

На металлическом каркасе экзоскелета **ExoHeaver AE** расположен привод модуля подъема груза. Подробнее алгоритмы использования данного модуля описаны в следующих разделах.

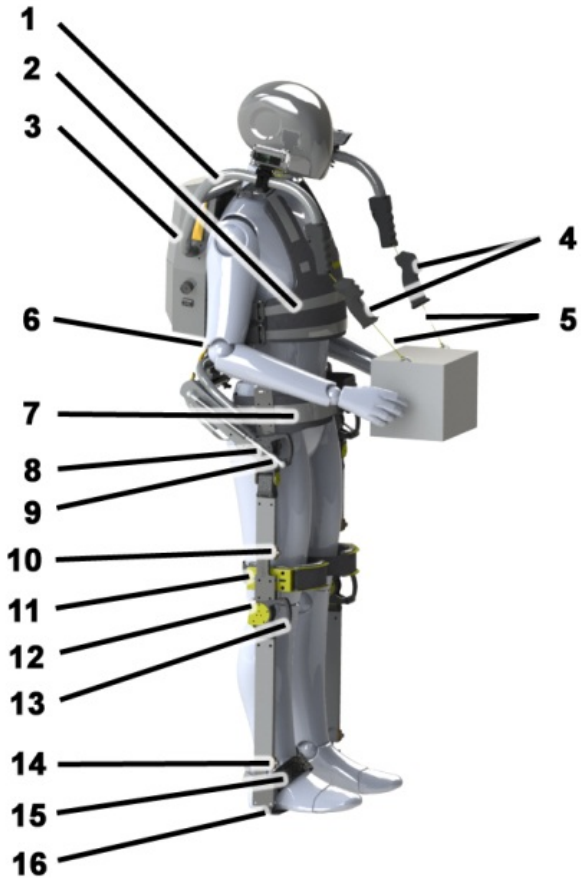


Рисунок 1.1 – Схема **ExoHeaver**

ExoHeaver состоит из следующих основных узлов и модулей (рисунок 1):

1 – силовой каркас (в модели **ExoHeaver AE** силовой каркас и модуль подъема груза – единое целое);

2 – мягкий упор спины с жилетом;

3 – корпус модуля подъёма груза (только в модели **ExoHeaver AE**);

4 – пульты управления (только в модели **ExoHeaver AE**);

5 – трос с карабинами;

6 – зажимы регулировки ширины таза экзоскелета;

7 – поясное крепление экзоскелета;

8 – бедренный шарнирный узел;

9 – механический компенсатор нагрузки;

10 – зажим для регулировки длины бедра;

11 – бедренная манжета;

12 – упор для сидения;

13 – коленный шарнирный узел и защита колена;

14 – зажим для регулировки длины голени;
15 – механизм крепления стопы оператора;
16 – опора экзоскелета.

ExoHeaver состоит из модулей силового каркаса, снабженного рядом регулировок, необходимых для обеспечения комфортной эксплуатации и возможности легко настроить экзоскелет в соответствии с параметрами различных пользователей.

2. НАЗНАЧЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТА

Изделие **ExoHeaver** предназначено для использования, как в производственных помещениях, так и на открытом воздухе.

При правильной эксплуатации устройства нагрузка, приложенная к устройству, передается сначала на спинной узел (рисунок 2.1), затем на поясничный отдел экзоскелета. В поясничном узле нагрузка распределяется на две нижние конечности в пропорции, зависящей от наклона корпуса вправо или влево. От нижних конечностей экзоскелета нагрузка передается на опоры устройства, через них нагрузка передается на опорную поверхность, на которой стоит экзоскелет.

В момент поднятия и удержания груза в каждом из шарниров возникают крутящие моменты (M_1, M_2, M_3, рисунок 2.1). Правильное положение оператора, позволяет минимизировать моменты нагрузки.

За счёт конструктивных особенностей аппарата, наибольшие крутящие моменты создаются между бедром и спиной. Поясничный отдел позвоночника является наиболее уязвимым к различным травмам, поэтому гравитационные компенсаторы экзоскелета помещены в бедренные шарниры.

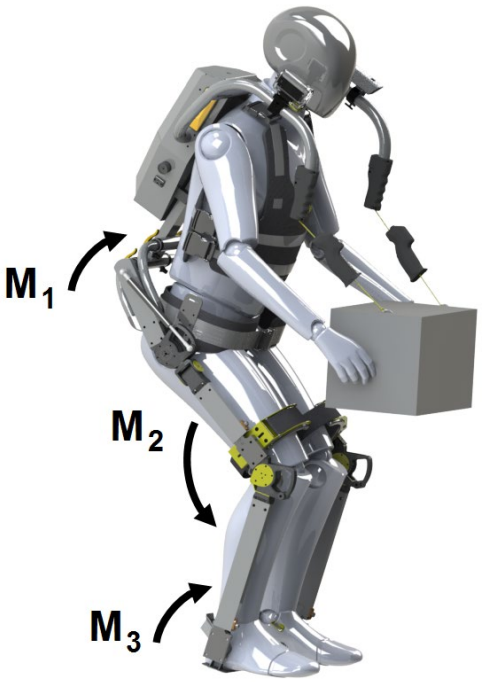


Рисунок 2.1 – Схема распределения моментов при поднятии груза

2.1 Сценарии применения промышленного экзоскелета ExoHeaver

Использование **ExoHeaver** требует от оператора знаний по эксплуатации конкретной модели в типовых задачах применения.

К типовым задачам применения можно отнести: ходьбу, работу в вертикальном положении или положении сидя, подъем, удержание и опускание груза. В зависимости от комплектации алгоритмы использования экзоскелета могут отличаться, поэтому рассмотрим только базовые случаи использования **ExoHeaver**.

2.1.1 Ходьба в промышленном экзоскелете ExoHeaver

Использование упругих элементов в конструкции бедренных модулей позволяет осуществлять ходьбу с частичной компенсацией крутящих моментов со стороны груза. При этом, чем на больший угол поворачивается бедро относительно спины, тем больше будет усилие на упругом элементе. Таким образом, конструкция побуждает оператора использовать короткий шаг, повышая энергоэффективность ходьбы при переносе груза.

Рисунок 2.2 – Диапазон вращения бедренного шарнира при ходьбе

2.1.2 Удержание вертикального положения и положения сидя

ExoHeaver имеет возможность разгрузки оператора в вертикальном положении за счёт особенностей конструкции

экзоскелета, а также при использовании упоров для сидения, поддерживающих оператора в положении сидя.

2.1.3 Подъём, перенос и удержание груза в промышленном экзоскелете ExoHeaver GC

Конструктивные особенности **ExoHeaver GC** позволяют снижать нагрузку при подъеме груза с пола или с опоры. Эффект снижения нагрузки на оператора достигается за счет максимального задействования механического компенсатора в бедренном суставе.

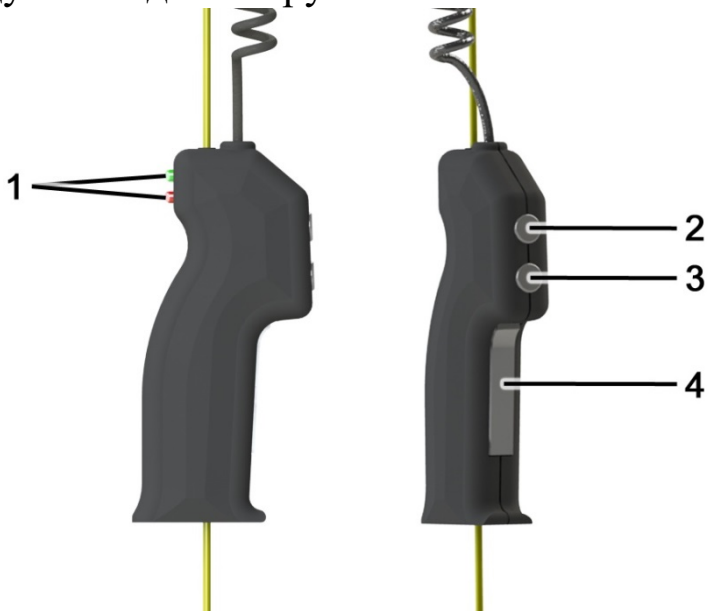
Типовой порядок использования экзоскелета подразумевает последовательное выполнение следующих действий:

- Оценить возможность подъема груза (нет препятствий, достаточно места и т.д.);
- Встать устойчиво в экзоскелете напротив груза;
- Осуществить наклон вперед, максимально используя бедренный шарнир;
- Зафиксировать груз на тросах экзоскелета;
- Осуществить разгибание спины, выполняя тем самым подъем груза, причем максимально использовать усилие со стороны компенсатора;
- Осуществить требуемые манипуляции или перенос груза;
- Опускание осуществить в обратном порядке.

Безопасность и эффективность использования **ExoHeaver GC** при подъеме груза зависит от правильной оценки возможности этого подъема.

2.1.4 Подъём, перенос и удержание груза в промышленном экзоскелете ExoHeaver AE

ExoHeaver AE позволяет производить подъем груза из любого устойчивого положения экзоскелета. На рисунке 2.3 изображен пульт управления модулем подъема груза.



1 – светодиодная индикация текущего режима работы модуля подъема груза, 2 – кнопка режима «подъем», 3 – кнопка режима «спуск», 4 – кнопка фиксации пульта управления на тросе

Рисунок 2.3 – Пульт управления модулем подъема груза

ExoHeaver AE снабжен поручнями (рисунок 2.4) для фиксации провода пульта.

Рисунок 2.4 – Поручень **ExoHeaver AE**

Модуль подъема груза работает в 5 режимах (таблица 2.1):

- Подъем,
- Спуск,
- Пауза,
- Ожидание,
- Авария.

При включении модуля производится диагностика компонентов, и, в случае работоспособности всех подсистем, устанавливается режим **Пауза**. В этом режиме индикация на пульте управления также отражает уровень заряда батареи.

Таблица 2.1 – Индикация в различных режимах работы

Режим	Индикация
Подъем	Горит только зеленый светодиод.
Спуск	Горит только красный светодиод.
Пауза	При заряде батареи > 50% горят оба светодиода (см. рисунок 2.6). При заряде батареи < 50% оба светодиода мигают с частотой 1 раз в секунду. При разряженной батарее оба светодиода гаснут.
Ожидание	Оба светодиода мигают с частотой 1 раз в 2 секунды.
Авария	Оба светодиода мигают с частотой 4 раза в секунду.

Чтобы перейти из режима **Пауза** в режим **Подъем** или **Спуск**, необходимо нажать соответствующую желаемому режиму кнопку пульта.

Чтобы перейти из режима **Подъем** в режим **Спуск** необходимо:

1. Нажать какую-либо из кнопок пульта для перехода в режим **Пауза**
2. Нажать кнопку Спуска для перехода в режим **Спуск**

Аналогично происходит переключение из режима **Спуск** в режим **Подъем.**

Переключение между режимами **Подъем**/**Спуск** осуществляется через «нейтральный» режим **Пауза**

Текущий режим работы отображается посредством светодиодов на пульте управления.

В режим **Ожидания** модуль переходит, если в течение 15 минут не были нажаты кнопки пульта. В этом режиме снижается энергопотребление. Нажатие кнопок «Подъем» или «Спуск» пульта в режиме **Ожидания** приводит к переходу модуля в режим **Паузы**.
В режиме ожидания оба светодиода пульта управления мигают с частотой 1 раз в 2 секунды.

В режим Авария модуль переходит при обнаружении неисправности. В режиме **Авария** оба светодиода пульта управления мигают с частотой 4 раза в секунду

Для выпуска троса необходимо:

- переключить модуль в режим «вниз» (рис.2.3)
- потянуть за оба троса по направлению вниз
- вытянуть трос на необходимую длину

Трос будет разматываться до тех пор, пока:

- Не будет установлен режим **Пауза**
- Будет сохраняться натяжение обоих тросов
- Трос не будет выпущен на максимальную длину

После того, как трос выпущен на необходимую (или максимальную) длину, необходимо закрепить груз с помощью фиксаторов на концах тросов.

Далее необходимо занять удобное положение. Для достижения эффекта разгрузки желательно, чтобы экзоскелет перешел в максимально выпрямленное состояние.

После перечисленных шагов необходимо перевести модуль в режим **Подъем**, при этом тросы начнут сматываться.

Тросы будут наматываться до тех пор, пока:

- Не будет установлен режим **Пауза;**
- Трос будет намотан на минимальную длину (примерно на уровне груди).

При поднятии груза необходимо контролировать траекторию его движения, направляя движение тросов руками. Как правило, для обеспечения удобства и безопасности оператора, в процессе поднятия груза необходимо отталкивать тросы от себя, удерживая выпрямленное вертикальное положения экзоскелета. Такое положение позволит снять нагрузку с тела человека и препятствовать получению травм.

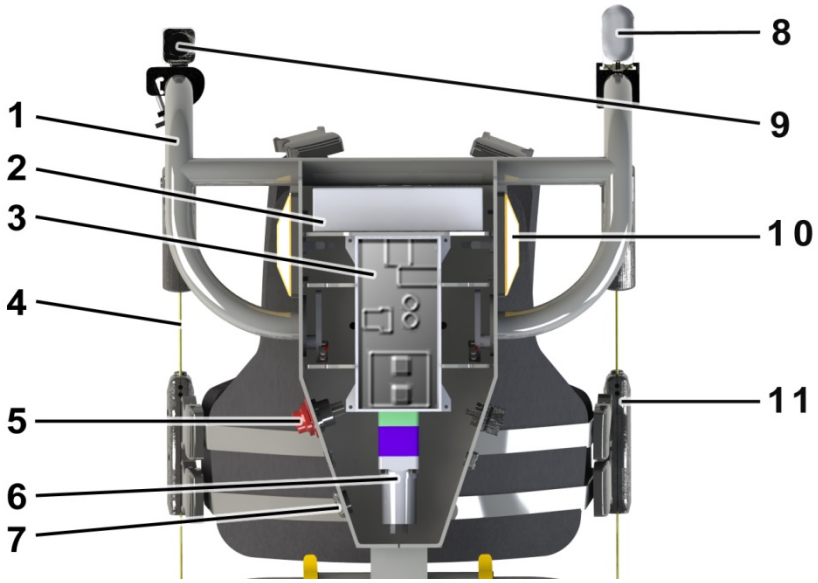
Поднятие груза с помощью модуля подъема груза **ExoHeaver AE** позволяет обеспечить разгрузку оператора более чем на 90%.

Переноска груза осуществляется также как и ходьба без груза, при этом силы, возникающие в упругих элементах бедренных модулей, будут обеспечивать гашение динамических ударов при ходьбе и компенсировать усилия при значительных относительных поворотах звеньев.

2.2 Описание, схема и принципы работы системы управления ExoHeaver AE

Модуль подъема груза экзоскелета **ExoHeaver AE** включает несколько основных элементов: электронный блок системы управления, блок аккумуляторных батарей, проводной пульт управления, поворотный тумблер включения/отключения электроники экзоскелета, разъем подключения зарядного устройства, систему датчиков.

Общая схема модуля подъема груза показана на рисунке 2.5.



1 – силовой каркас модуля подъема груза, 2 – блок аккумуляторных батарей, 3 – электронный блок системы управления, 4 – трос, 5 – поворотный тумблер включения/отключения электроники экзоскелета, 6 – электропривод лебедки, 7 – разъем подключения зарядного устройства, 8 – монтируемая видеокамера (опция), 9 – монтируемый осветительный прибор (опция), 10 – боковое светосигнализирующее устройство, 11 – пульт на тросе

Рисунок 2.5 – Схема модуля подъема груза ExoHeaver AE (крышка модуля снята)

Зарядка аккумуляторных батарей осуществляется посредством платы балансировки встроенной в блок электроники экзоскелета.

Для осуществления зарядки необходимо подключить к экзоскелету зарядное устройство посредством специализированного двухконтактного разъема.

Полный заряд аккумуляторных батарей занимает 2-3 часа. При этом полного заряда хватает на 200-250 циклов подъема опускания груза, или порядка 2 часов непрерывной работы привода, что позволяет использовать экзоскелет без подзарядки полную рабочую смену.

Включение электронной системы управления осуществляется переводом клавиши питания экзоскелета в положение «вкл», которая располагается на корпусе экзоскелета.

Для предотвращения разряда батареи, после 15 мин простоя (не нажимаются никакие кнопки пульта) включается ждущий режим (режим сниженного энергопотребления).

Для выхода из ждущего режима, необходимо нажать на любую из кнопок, а далее действовать согласно предыдущим разделам инструкции.

Если после повторного включения проблема с приводом сохраняется, то необходимо прервать работу и обратиться к поставщику для диагностики и, возможно, последующего ремонта экзоскелета.

На рисунке 2.6 представлена зависимость заряда аккумуляторной батареи в процентах от напряжения электропитания на её клеммах.

Для индикации отклонения спины экзоскелета от вертикального положения «вперед» и «назад» используются боковые светосигнализирующие устройства (рисунок 2.5). Зависимость частоты их мигания от величины угла отклонения спины экзоскелета от вертикального положения представлена на рисунке 2.7.

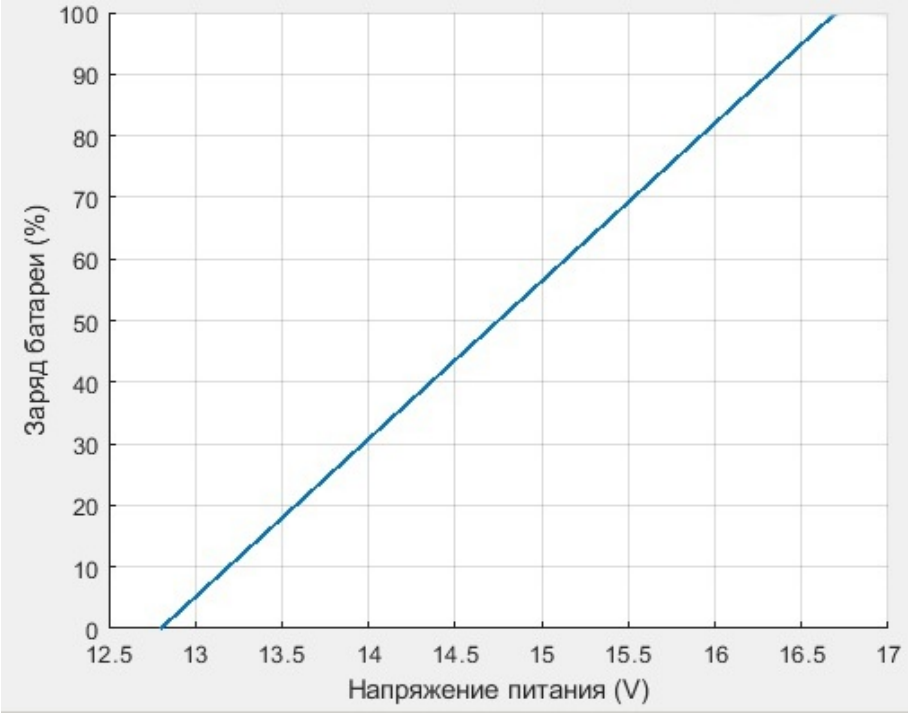


Рисунок 2.6 – Зависимость заряда аккумуляторной батареи от напряжения электропитания на её клеммах

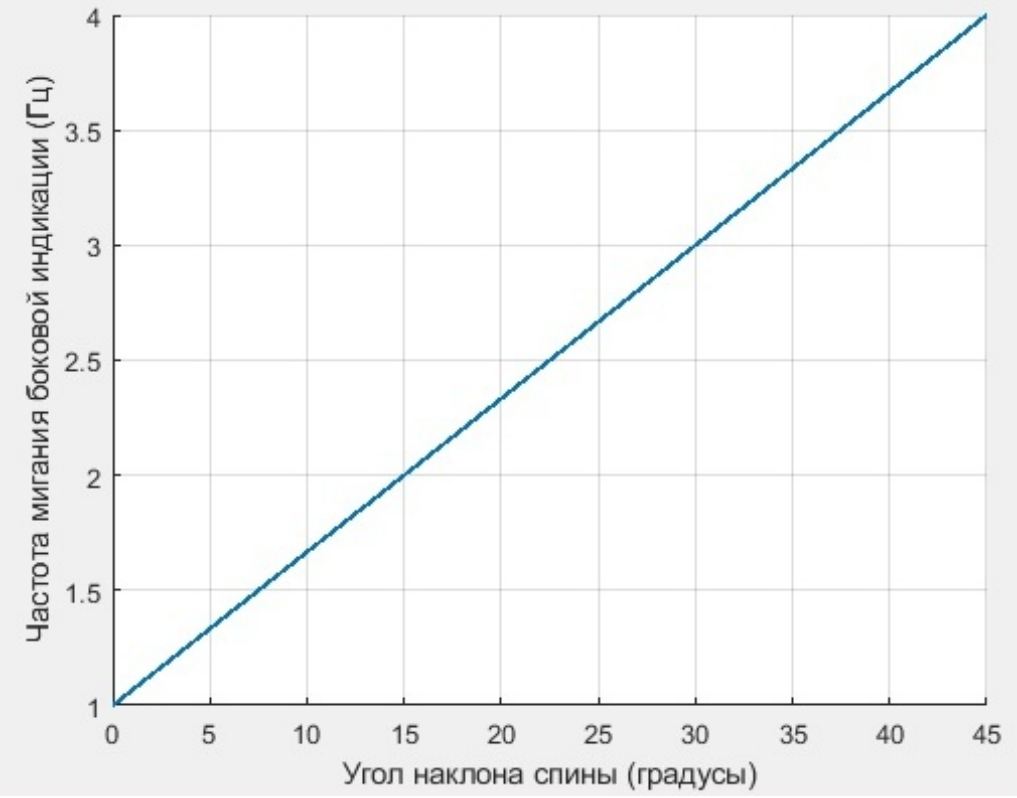


Рисунок 2.7 – Зависимость частоты мигания боковых светосигнализирующих устройств от величины угла отклонения спины экзоскелета от вертикального положения

2.3 Требования, предъявляемые к пользователям

Основные физиологические требования к пользователям (рисунок 2.8):

- отсутствуют повреждения кожного покрова (степень);
- рост (L): 1,6 – 1,9 (м);
- длина голени со стопой ($L_Г$): 50 - 60 (см)
- длина бедра ($L_Б$): 45 - 55 (см)
- обхват груди ($О_{ГР}$) 100 - 200 (см);
- обхват таза ($О_Т$) 100-200 (см);
- обхват бедра ($О_Б$) 60-100 (см);
- обхват голени ($О_Г$) 40-60 (см);
- масса оператора от 60 кг до 120 кг.

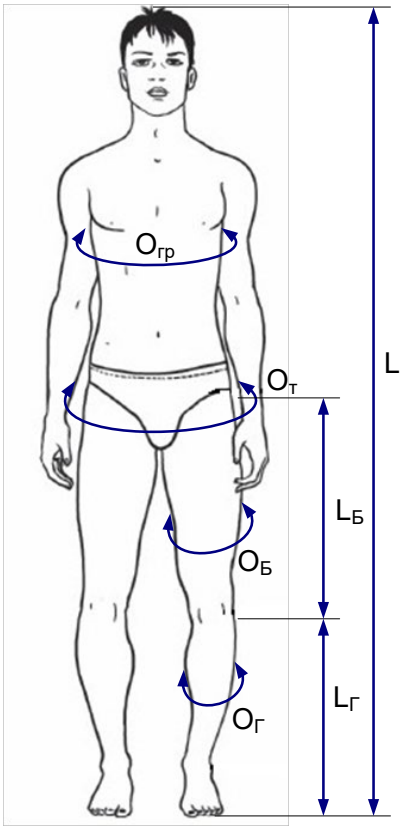


Рисунок 2.8 – Места необходимых замеров

2.4 Требования, предъявляемые к среде использования

ExoHeaver предназначен для использования на устойчивой поверхности с углом наклона не более 8°.

Использование экзоскелета на неподходящих поверхностях может послужить причиной потери устойчивости оператора и привести к повышенному риску травм и/или повреждению устройства.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ EXOHEAVER

3.1 Предварительная настройка под размеры пользователя

ExoHeaver предназначен для операторов различного роста и комплекции. Удобство использования может быть достигнуто только при точной настройке положения манжет и натяжения ремней.

Для предварительной настройки замерьте длину бедра и голени, а также обхват конечности рулеткой, как показано на рисунке 2.8.

Выставьте размеры бедра и голени максимально приближенно к пропорциям Вашего тела.

Для осуществления регулировки длины звеньев **ExoHeaver**, необходимо ослабить регулировочные винты (рисунок 3.1), выставить звенья в необходимое положение и затянуть регулировочные винты. На каждом звене бедра/голени имеется маркировка текущего положения. Для удобства и ускорения настройки, рекомендуется после первой регулировки запомнить необходимые положения и использовать эти сведения при последующем использовании экзоскелета.

На рисунке 3.1 показана регулировка звена бедра экзоскелета, регулировка звена голени осуществляется аналогичным способом.

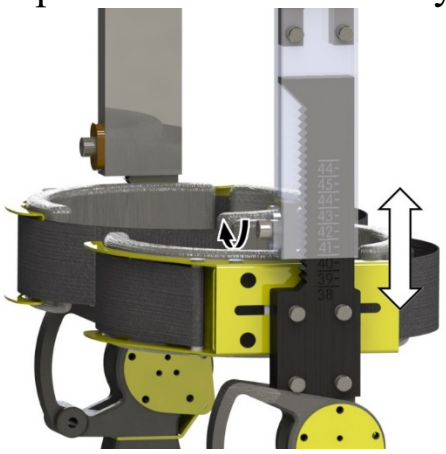


Рисунок 3.1 – Регулировка длины звена бедра

Рисунок 3.2 – Схема регулировки вылета бедренной манжеты

Правая и левая сторона **ExoHeaver** (в голени, бедре, вылете бедренного шарнира и ширине таза) должны быть отрегулированы точно симметрично друг другу.

Для удобства оператора предполагается также настройка вылета бедренной манжеты.

Принцип регулировки вылета манжеты аналогичен настройке длин голени и бедра и показан на рисунке 3.2.

Изменение ширины таза экзоскелета выполняется с помощью четырех регулировочных зажимов сзади экзоскелета (рисунок 3.3). Для этого требуется:

- отвести все четыре зажима на себя от экзоскелета,
- выставить требуемую ширину таза экзоскелета,
- установить все четыре зажима в исходное положение.

Необходимо регулировку ширины таза экзоскелета выполнять таким образом, чтобы уже настроенные по вылету бедренные шарниры находились максимально близко к оператору, но не стесняли его.

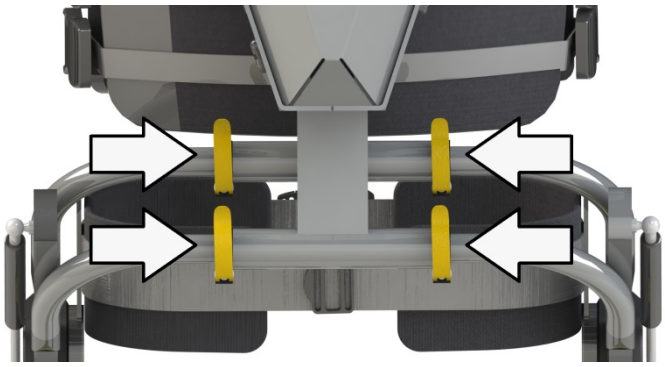


Рисунок 3.3 - Регулировочные зажимы для изменения ширины таза экзоскелета

В зависимости от роста оператора необходимо отрегулировать высоту спины **ExoHeaver** следующим образом:

- ослабить регулировочный винт;
- настроить необходимую высоту экзоскелета;
- затянуть регулировочный винт.

Регулировочный винт находится между корпусом модуля подъема груза и мягким упором спины (рисунок 3.4). Регулировка высоты спины выполняется аналогично изменению длин звеньев бедер и голеней.

После того, как все длины звеньев экзоскелета отрегулированы, можно надевать экзоскелет.

Рисунок 3.4 – Расположение регулировочного винта для изменения высоты спины **ExoHeaver**

3.2. Надевание ExoHeaver

Надевание **ExoHeaver** предполагается, также как и его предварительная регулировка, в двух вариантах: при помощи ассистента, либо с использованием устройства хранения.

Перед надеванием **ExoHeaver** убедитесь, что все манжеты находятся в правильном положении и раскрыты, ремни расслаблены. Это позволит сэкономить время на одевание и обеспечить комфорт оператора.

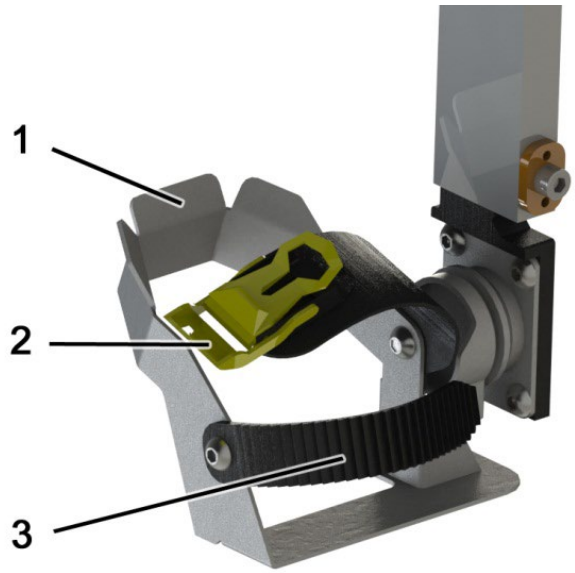
Надевание и фиксацию элементов крепления экзоскелета на человеке необходимо выполнять в следующей последовательности:

а) фиксация стоп оператора

В первую очередь, необходимо зафиксировать стопы. Для этого необходимо установить стопу в колодку стопы **ExoHeaver** так, чтобы пятка упиралась в упор 1. После чего стопа фиксируется ремнем 3. Требуемое натяжение ремня обеспечивается клипсой-трещоткой 2. Колодка стопы **ExoHeaver** показана на рисунке 3.5.

б) фиксация бедер

В следующем этапе фиксируются бедра пользователя. В конструкции **ExoHeaver** используются ременные крепления с текстильными застежками «липучка» (рисунок 3.6).



1 – упор, 2 – клипса-трещотка, 3 – фиксирующий ремень

Рисунок 3.5 – Колодка стопы

Рисунок 3.6 – Бедренная манжета

Для фиксации бедра необходимо выполнять следующую последовательность действий:

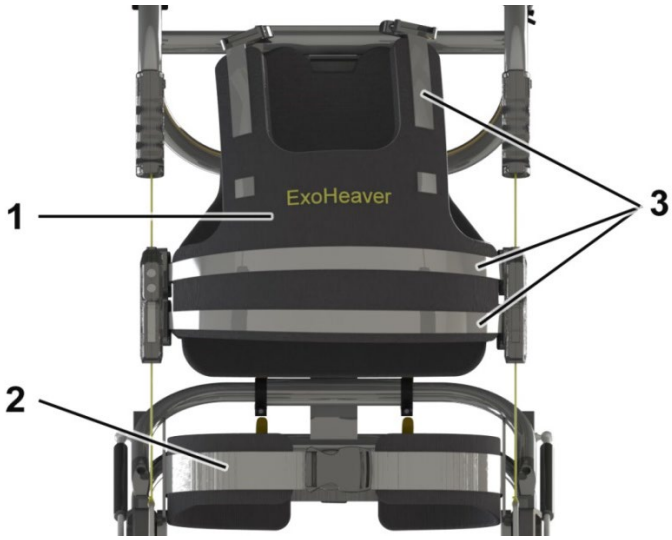
- Установите ногу внутри манжеты;
- Зафиксировать ногу с помощью первой текстильной застежки «липучка»;
- Зафиксировать ногу с помощью второй текстильной застежки «липучка».

Обеспечьте необходимое натяжение ремня так, чтобы нога оператора надежно фиксировалась в манжете, однако, не затягивайте ремень слишком сильно во избежание пагубных последствий, вызванных ограничением (за счёт сильного передавливания) поступления крови в конечность.

в) фиксация туловища оператора

После фиксации **ExoHeaver** на нижних конечностях необходимо закрепить на спине оператора экзоскелет с помощью жилета. Для фиксации жилета требуется затянуть его фиксирующие ремни.

Средства фиксации туловища оператора показаны на рисунке 3.7.



1 – жилет, 2 – поясной ремень, 3 – фиксирующие ремни жилета

Рисунок 3.7 – Жилет и поясной ремень ExoHeaver

г) поясной ремень

В последнюю очередь фиксируется поясной ремень.

После проведения всех вышеперечисленных действий проверьте отсутствие ослабленных креплений и наличие соприкосновения опор «пола». Если это не выявлено, повторно проверьте, правильно ли настроены длины бёдер и голеней – для этого выполните комплекс базовых движений (ходьба, приседание, повороты и т.д.).

4 РАЗБОРКА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА EXOHEAVER

Ход работы

Исходная конфигурация нижней конечности экзоскелета приведена на рисунке 4.1.

Рисунок 4.1. Собранная нога экзоскелета

Необходимо произвести разборку нижней конечности промышленного экзоскелетного комплекса «ExoHeaver», по следующей последовательности действий.

1. Снять регулировочное крепление с корпуса голени, затем снять корпус голени с профиля голени (рис. 4.2).

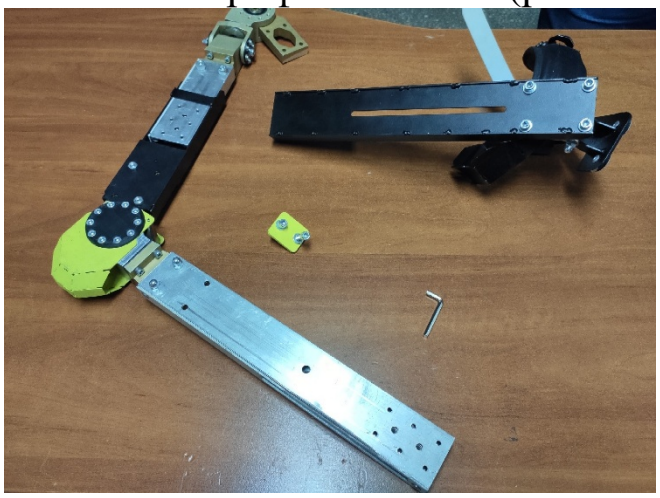


Рисунок 4.2. Рассоединенные регулировочное крепление, корпус голени и профиль голени

Снять стопу с голеностопного шарнира (рис. 4.3).

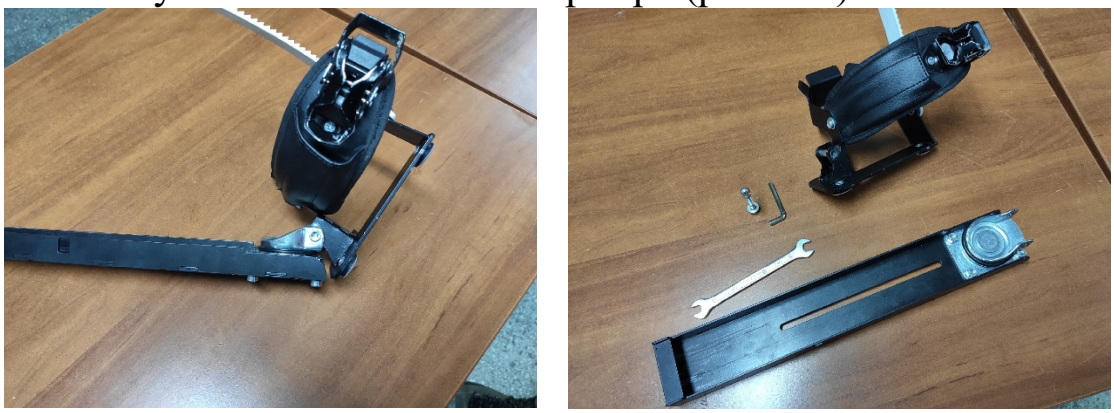


Рисунок 4.3. Отделение стопы и голеностопного шарнира

2. Отделить шарнир от корпуса голени (рис. 4.4).

Рисунок 4.4. Шарнир и корпус голени

Отделить линейку и регулировочную пластину от профиля голени (рис. 4.5).

Рисунок 4.5. Отделение линейки и регулировочной пластины от профиля голени

3. Отделить профиль голени от коленного шарнира (рис. 4.6).

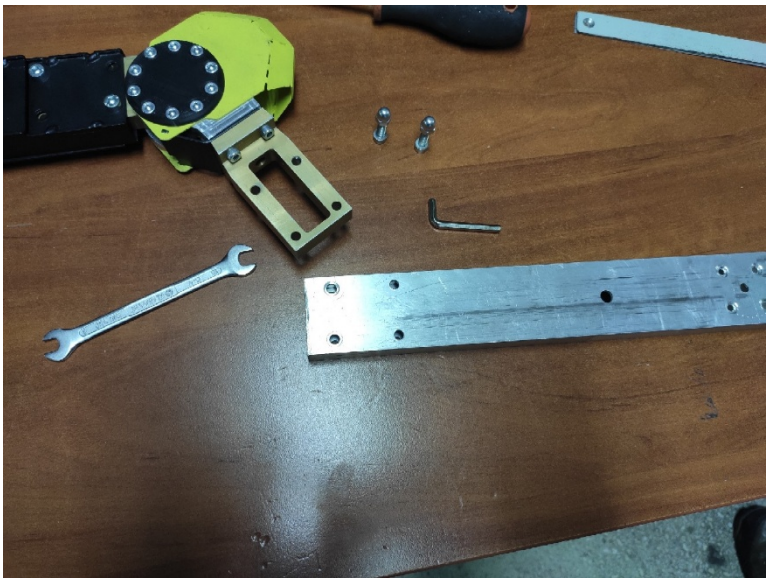


Рисунок 4.6. Отделение профиля голени от коленного шарнира

Отделить манжету от корпуса голени (рис. 4.7)

Рисунок 4.7. Отделение манжеты от корпуса бедра

4. Отделить коленный шарнир от корпуса бедра (рис. 4.8)

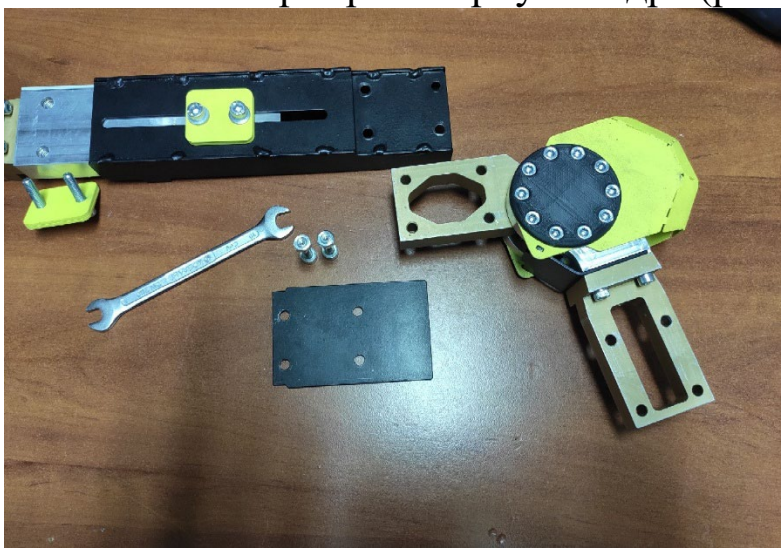


Рисунок 4.8. Отделение коленного шарнира от корпуса бедра

5. Снять пластиковые накладки и шайбу-фланец с коленного шарнира (рис. 4.9).

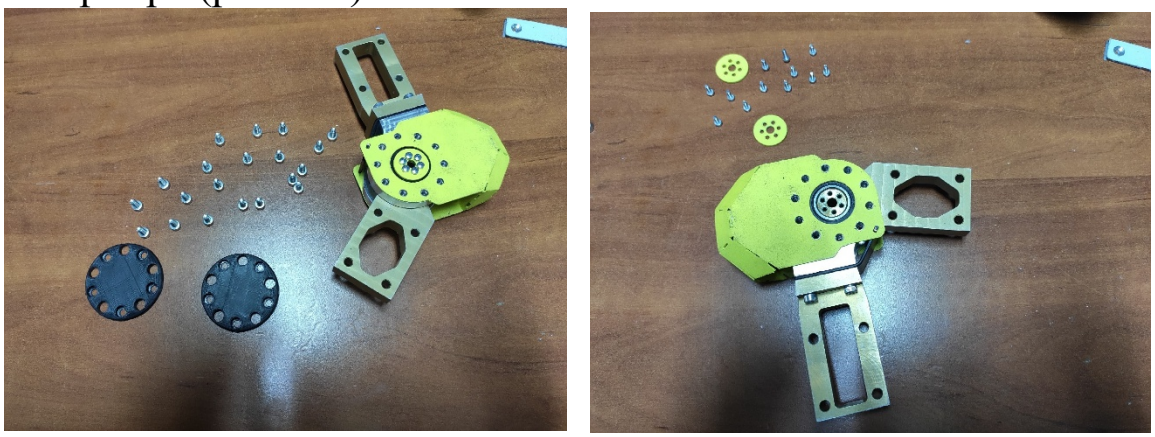


Рисунок 4.9. Отделение пластиковых накладок и шайб-фланцев от коленного шарнира

6. Снять колено с коленного шарнира (рис. 4.10)

Рисунок 4.10. Отделение колена от коленного шарнира

7. Снять регулировочное крепление с корпуса бедра и отделить корпус бедра от профиля бедра (рис. 4.11).

Рисунок 4.11. Отделение регулировочного крепления и корпуса бедра от профиля бедра

8. Отделить линейку и регулировочную пластину от профиля бедра (рис. 4.12)

Рисунок 4.12. Отделение линейки и регулировочной пластины от профиля бедра

9. Отделить профиль бедра от бедренного шарнира (рис. 4.13).

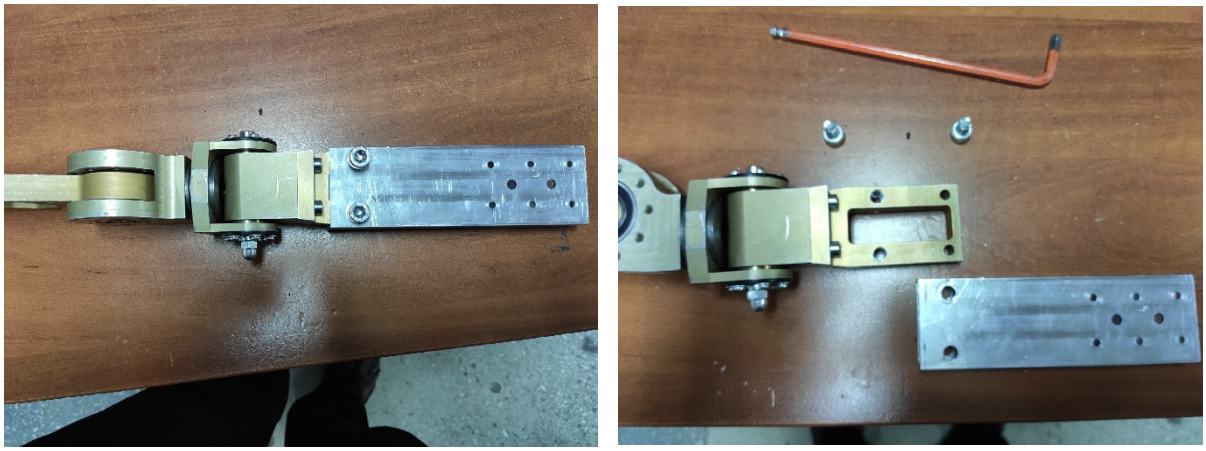


Рисунок 4.13. Отделение профиля бедра от бедренного шарнира

Таким образом, разборка нижней конечности промышленного экзоскелета ExoHeaver завершена.

Составляющие нижней конечности промышленного экзоскелетного комплекса «ExoHeaver» показаны на рис. 4.14.

Рисунок 4.14. Разобранная нижняя конечность экзоскелета

Разборка второй нижней конечности экзоскелета ExoHeaver осуществляется аналогично.

5 СБОРКА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА EXOHEAVER

Ход работы

Необходимо произвести сборку нижней конечности промышленного экзоскелетного комплекса «ExoHeaver», составные части которой показаны на рис. 4.14.

Порядок сборки приведен ниже.

1. Соединить профиль бедра с бедренным шарниром (рис. 5.1)

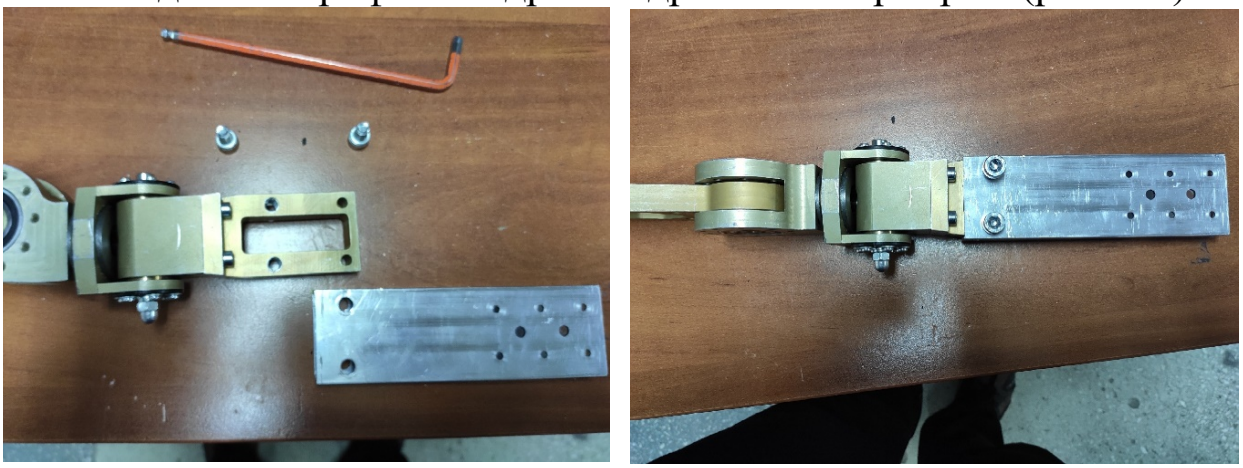


Рисунок 5.1. Соединение профиля бедра с бедренным шарниром

2. Присоединить к профилю бедра регулировочную пластину и линейку(рис. 5.2).

Рисунок 5.2. Место крепления регулировочной пластины и линейки

3. Присоединить к профилю бедра корпус бедра и регулировочное крепление (рис. 5.3).

Рисунок 5.3. Соединение профиля бедра и корпуса бедра регулировочным креплением

4. Присоединить колено к коленному шарниру, совместив отверстия, и закрепить на пазах (рис. 5.4).

Рисунок 5.4. Колено и коленный шарнир

5. Закрепить шайбу-фланец и пластиковые накладки на коленный шарнир (рис. 5.5).

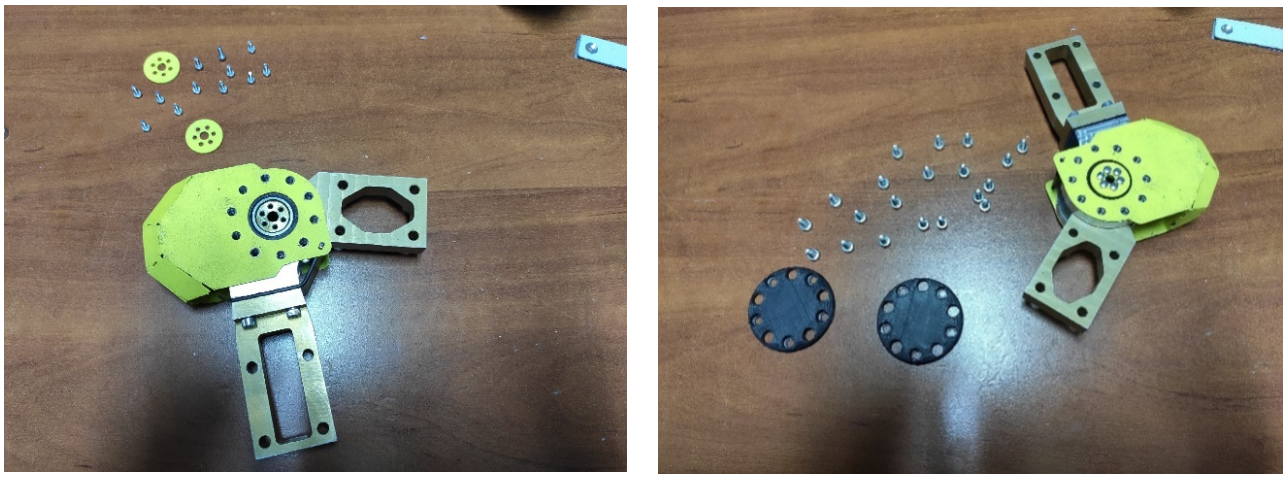


Рисунок 5.5. Место крепления шайб-фланцев и пластиковых накладок

6. Присоединить коленный шарнир к бедренному корпусу, установив подвижную часть шарнира между корпусом и крепежной накладкой (рис. 5.6).

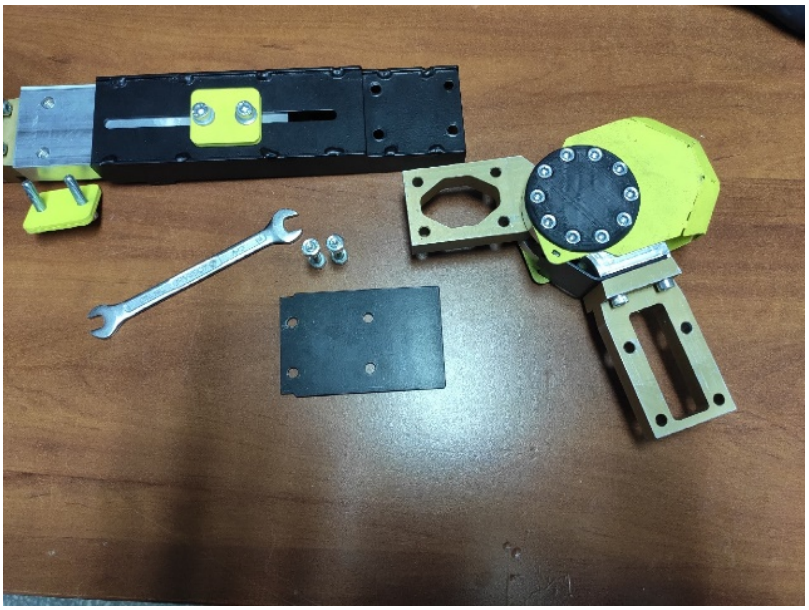


Рисунок 5.6. Коленный шарнир и бедренный корпус с крепежной накладкой

7. Присоединить манжету к корпусу бедра (рис. 5.7).

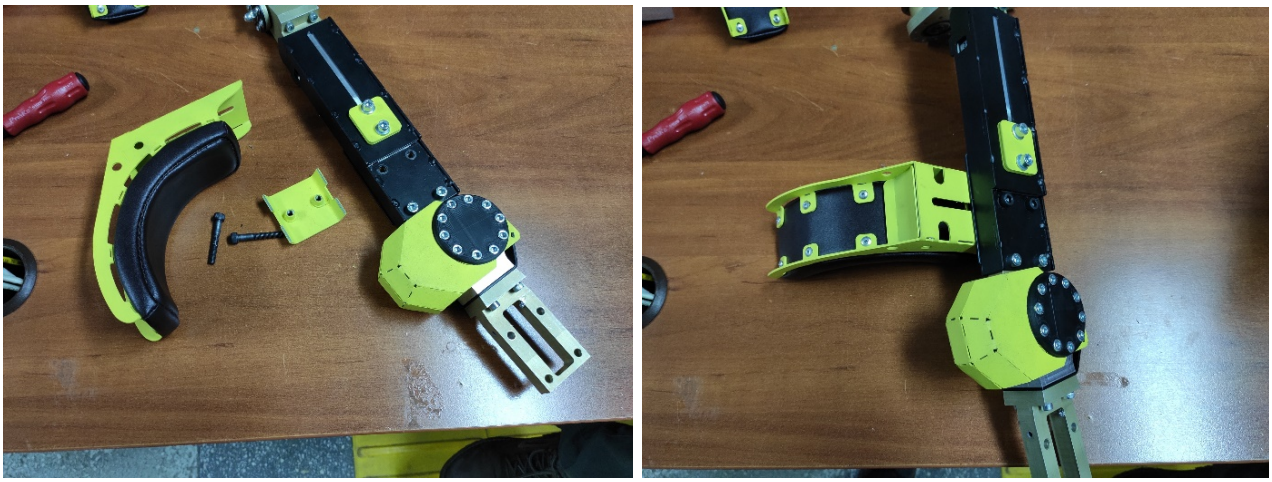


Рисунок 5.7. Присоединение манжеты к корпусу бедра

8. Присоединить профиль голени к коленному шарниру, совместив боковые и фронтальные отверстия (рис. 5.8)

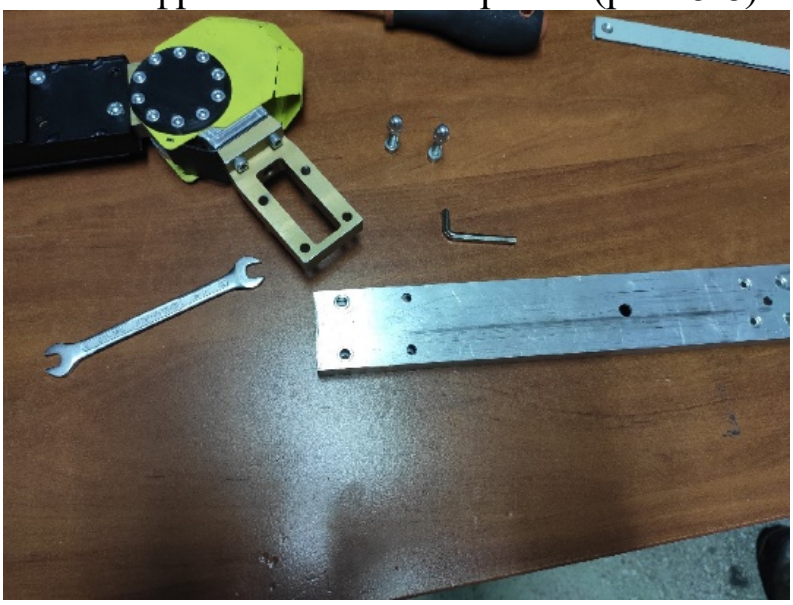


Рисунок 5.8. Профиль голени и коленный шарнир

9. Закрепить регулировочную пластину и линейку к профилю голени (рис. 5.9)

Рисунок 5.9. Присоединение регулировочной пластины и линейки к профилю голени

10. Закрепить голеностопный шарнир к корпусу голени (рис. 5.10).

Рисунок 5.10. Корпус голени и голеностопный шарнир

11. Закрепить стопу на голеностопном шарнире, совместив отверстия на шарнире с отверстиями на креплении стопы и соединить их с помощью болта с шестигранной головкой и шайбы (шайбу разместить под головкой болта с внутренней стороны крепления стопы) (рис. 5.11).

Рисунок 5.11. Соединение стопы и голеностопного шарнира

12. Соединить профиль голени с корпусом голени и регулировочным креплением (рис. 5.12).

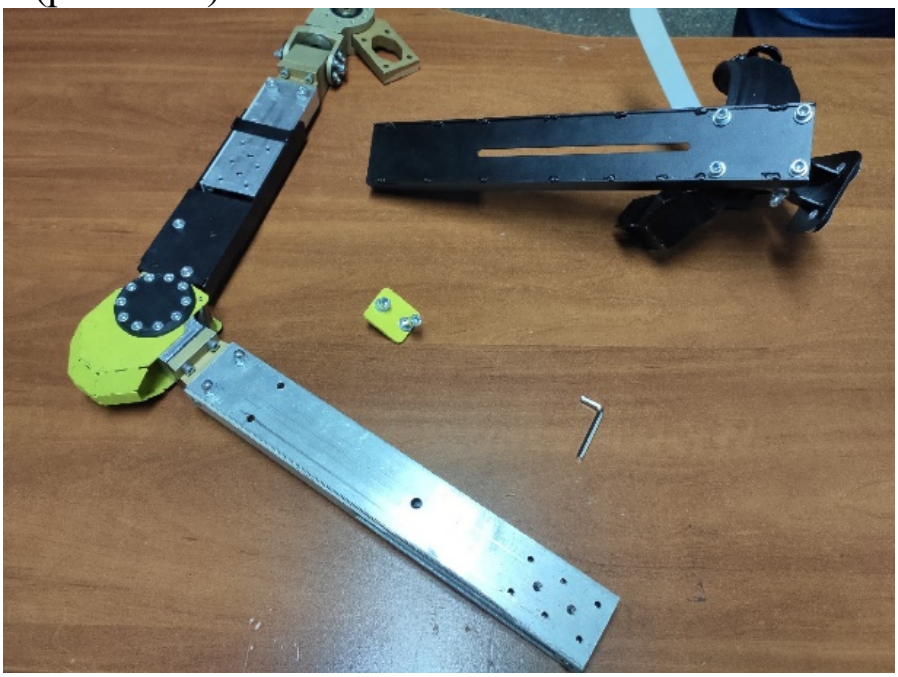


Рисунок 5.12. Профиль голени, корпус голени со стопой и регулировочное крепление

Таким образом, сборка нижней конечности промышленного экзоскелета ExoHeaver завершена.

Нижняя конечность в сборе изображена на рисунке 4.1.

Сборка второй нижней конечности экзоскелета ExoHeaver осуществляется аналогично.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое экзоскелет?
2. Для чего предназначен экзоскелет?
3. Какие виды экзоскелетов бывают?
4. Основные технические характеристики промышленного экзоскелета Exo HEAVER AE
5. Какие требования предъявляются к конструкциям экзоскелетов?
6. Какими особенностями должна обладать манжета экзоскелета?
7. Из каких частей состоит манжета Exo Heaver?
8. Как осуществляется регулировка длины стропы манжеты?
9. Какие типовые задачи могут выполняться в экзоскелете?
10. Каких правил необходимо придерживаться при ходьбе в экзоскелете?
11. Каков порядок действий при выполнении подъема груза в Exo Heaver GC?
12. Каков порядок действий при выполнении подъема груза в Exo Heaver AE?
13. Какие условия необходимо соблюдать при подъеме груза с помощью лебедки?
14. Какие элементы управления и индикации присутствуют на пульте управления подъемным механизмом
15. Каков порядок действий при опускании груза в Exo Heaver AE?
16. Что относится к типовым сценариям использования экзоскелета?
17. Как называются комплектации экзоскелета Exo Heaver?
18. Сколько степеней свободы в бедренном шарнирном соединении экзоскелета?
19. Сколько степеней свободы в голеностопном шарнирном соединении экзоскелета?
20. Как осуществляется фиксация длины звена голени/бедра?
21. Как осуществляется настройка вылета бедренного шарнира?
22. Каков порядок действий при регулировке высоты экзоскелета (положения спины)
23. Каков порядок действий при фиксации ноги в бедренной манжете?
24. Каков порядок действий при разборке конечностей экзоскелета?
25. Каков порядок действий при сборке конечностей экзоскелета?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Экзоскелеты: Анализ конструкций, классификации, принципы создания, основы моделирования: монография / С.Ф. Яцун, С.И. Савин, О.В. Емельянова, А.С. Яцун, Р.Н. Турлапов; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2015. – С. 179.

2 Экзоскелеты: анализ конструкций, классификации, принципы создания, основы моделирования : монография / Яцун С. Ф. [и др.]. - Курск : Юго-Западный гос. ун-т, 2014. - 148 с.

3 Экзоскелеты: моделирование движения экзоскелета нижних конечностей с учетом физиологических особенностей пациента : монография / С.Ф. Яцун, А.С. Яцун, П.А. Безмен [и др.]. - Курск : Унив. кн., 2017. - 197 с.

4 Экзоскелеты: управление движением экзоскелета нижних конечностей при ходьбе / С. Ф. Яцун, Л. Ю. Ворочаева, А. С. Яцун и др. — Университетская книга Курск, 2016. — 190 с.

5 Промышленные экзоскелеты: моделирование, проектирование, управление: монография/ Яцун С.Ф., Мальчиков А.В., Яцун А.С., Политов Е.Н. Юго-Зап. гос. ун-т. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2021. - 167 с.