

УДК 621.865.8

## ОБЗОР КОНСТРУКЦИИ РОБОТА-ЭКЗОСКЕЛЕТА ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Си Тао, студент гр.ГЭаи-211, II курс

Чэнь Цин, студент гр.ГЭаи-211, II курс

Ань Чao, студент гр. МTaи-212, II курс

Ву Гуанъюн студент гр.ГЭаи-211, II курс

Тургенев И.А., мл. науч. сотр. НИЛ ЦТПМСК

Научный руководитель: Хорешок А.А., д.т.н., профессор, директор горного института

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

С 1 марта 2022 года вступили в силу изменения Трудового кодекса Российской Федерации (ТК РФ). Законом № 311-ФЗ изменена структура раздела X ТК РФ «Охрана труда». В частности, добавились основные принципы обеспечения безопасности труда.

Два основных принципа обеспечения безопасности труда сформулированы в новой ст. 209.1 ТК РФ [1]:

- 1) предупреждение и профилактика опасностей;
- 2) минимизация повреждения здоровья работников.

У рабочих горных предприятий зачастую возникают следующие профессиональные заболевания: радикулопатия, артроз, остеохондроз.

Болезни обусловлены тяжелыми физическими нагрузками. Одно из решений для снижения физических нагрузок на работников горных предприятий в процессе добычи полезных ископаемых, а, следовательно, и снижения процента роста профессиональных заболеваний – это применение экзоскелетов для выполнения операций технологического цикла.

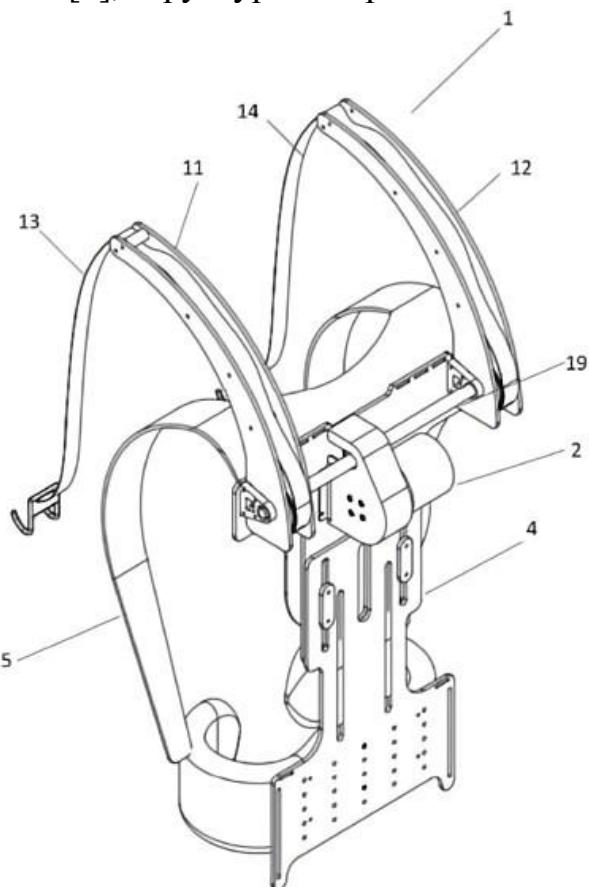
Робот-экзоскелет представляет собой набор интеллектуальных механических систем, которые могут динамически взаимодействовать с пользователем и объединять чувства, движения и другие органы человеческого тела с интеллектуальным центром обработки данных и исполнительной системой управления роботом. Его основные технические модули включают в себя: механическую структуру, драйверы, датчики, алгоритмы и стратегии управления, которые могут получать информацию для выполнения двигательных функций [2]. Применительно к производственной линии добычи полезных ископаемых экзоскелет, носимый шахтерами, может своевременно обеспечить шахтеров защитой, информационным взаимодействием, улучшением двигательных и

других функций.

Большинство силовых экзоскелетов находятся на стадии теоретической апробации во многих странах. Исследование разделено на части тела: экзоскелет верхних конечностей, экзоскелет нижних конечностей, экзоскелет талии, интеграция верхних и нижних конечностей – экзоскелет всего тела.

Го Циюань и другими [3] исследователями было обнаружено, что при использовании в промышленности экзоскелета верхних конечностей, его основными опорами были плечи и локти. Это способствовало уменьшению мышечной усталости рабочих и обеспечению надежной поддержки или помощи в переноске тяжелых предметов.

В зависимости от наличия источника питания его можно разделить на экзоскелеты с активным и пассивным питанием. Тип силового привода активных экзоскелетов напрямую влияет на конструктивное исполнение всей верхней конечности. Общие поддерживающие части трансмиссии включают шатун, трос, резиновую ленту, пружину из стекловолокна, проволоку Боудена, шкив, турбину, гармоническую шестерню и т.д. Например, экзоскелет с активной поддержкой верхних конечностей, изобретенный Ли Руфей из Пекинского института машин и оборудования [4], структура которого показана на рисунке 1.

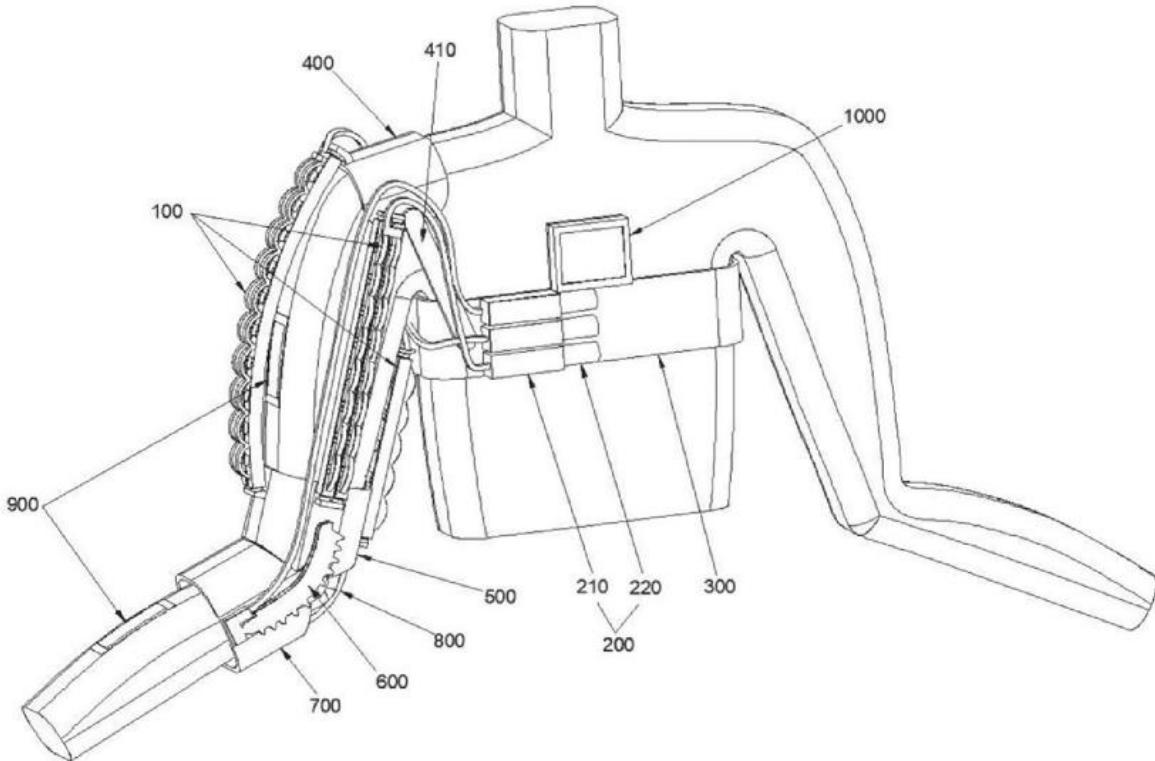


1 – натяжной ленточный консольный механизм, 2 – приводной механизм, 4 – задняя опора в сборе, 5 – рюкзак в сборе, 11,12 – консоль, 13, 14 – натяжной ремень, 19 – вращающийся вал

Рисунок 1 – Структурная схема экзоскелета.

Экзоскелет приводит в движение ось вращения двигателя, приводящую в движение натяжную ленту консольного механизма, так что две консоли могут синхронно поднимать груз, эффективно помогая верхним конечностям человека. Чтобы устранить технические дефекты экзоскелета, такие как большой объем, неудобное ношение и тип одинарного действия, компания Chengtian Science and Technology Development Co., Ltd. Ван Тянь [5] предложил структурную схему. Робот-экзоскелет с поддержкой верхней конечности, который включает в себя телескопическую имитацию мышцы, гидравлический силовой механизм, каркас поддержки грудной клетки, каркас поддержки плеча и большую соединительную муфту руки.

Как показано на рисунке 2, телескопическая смоделированная мышца экзоскелета образована множеством гидравлических цилиндров, а гибкая сгибающаяся пластина и внешняя распорная втулка используются для формирования сгибающейся смоделированной мышцы для реализации сопротивления движению сгибающейся руки.



100 – растягиваемые моделируемые мышцы, 200 – гидравлический силовой механизм, 300 – опорная рама для груди, 400 – опорная рама для плеч,  
500 – стрела, соединительная муфта

Рисунок 2 – Телескопическая имитация мышечного экзоскелета робота верхних конечностей с активным ремешком.

Эта смоделированная мышечная структура имеет небольшие размеры и легкий вес. Прикрепление его к различным положениям стрелы может помочь стреле выполнять различные действия, такие как подъем стрелы, опускание, поворот вперед и назад. Это позволяет шахтеру более эффективно передвигаться при переноске тяжелых предметов или выполнении упражнений, а также

избежать болезненных ощущений в мышцах, даже при мышечных травмах или напряжениях, вызванных мышечной усталостью оператора из-за длительного ношения или упражнений. Юань Бо и другие [6] также изучили и спроектировали экзоскелет с силовым приводом для верхней конечности, как показано на рисунке 3.

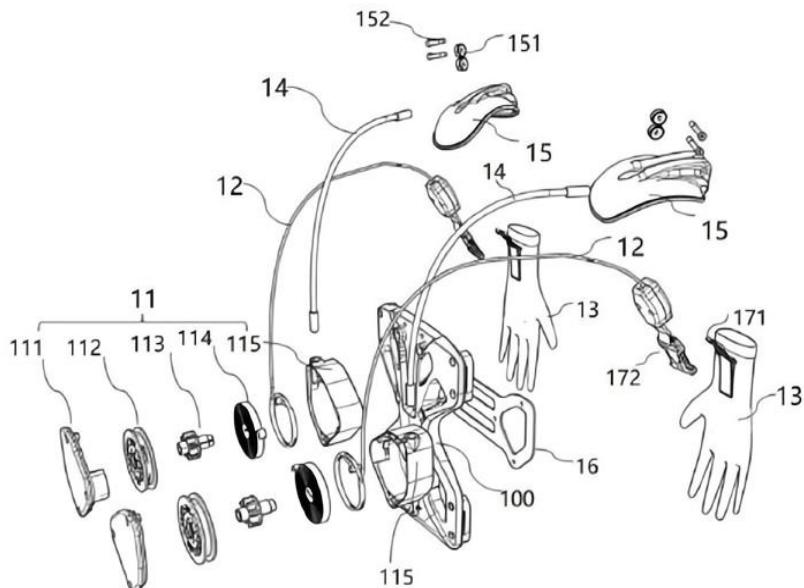


Рисунок 3 – Покомпонентное изображение механизма помощи верхней конечности экзоскелета для вспомогательного манипулирования:

- 11 – механизм накопления упругой энергии верхней конечности,
- 12 – элементы силовой передачи, 13 – детали поддержки кистей рук,
- 14 – арматура, 15 – детали поддержки на плечах

Экзоскелет состоит из механизма накопления упругой энергии верхних конечностей и компонента передачи силы. Вспомогательный принцип заключается в следующем, когда суставы верхних конечностей человека растягиваются, то механизм накопления упругой энергии верхних конечностей приводится в действие для накопления энергии. Когда суставы верхних конечностей оператора сгибаются для переноски тяжелых предметов, механизм накопления упругой энергии верхних конечностей высвобождает накопленную упругую потенциальную энергию, чтобы помочь верхним конечностям пользователю.

Подводя итог, можно сказать, что основными функциональными требованиями будущего горнодобывающего экзоскелета-робота, используемого в горнодобывающей промышленности, являются портативная, силовая помощь, многоступенчатая, адаптивная трансформация, безопасность и стабильность. Для выполнения данных задач необходимо использовать экзоскелет верхних конечностей.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2021 138/3).*

*The research was supported by the state assignment of Ministry of Science and*

*Higher Education of the Russian Federation (№ 075-03-2021-138/3)*

**Список литературы:**

1. Новые требования по охране труда с 2022 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.auditit.ru/articles/personnel/a134855/1043131.html> (дата обращения 10.03.2023).
2. Глобальный отчет об исследованиях индустрии роботов-экзоскелетов в 2021 г.
3. Го Циюань, Ху Чжиган, Фу Дунляо. Обзор исследования экзоскелета с поддержкой верхних конечностей [J/OL]. Механическая трансмиссия: 1-15 [Электронный ресурс]. URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1129.TH.20220719.1057.002.html> (дата обращения 24.10.2022).
4. Li Rufei, Wu Qingxun, Wang Daochen, Liu Hao, Zhang Lijian Активный экзоскелет верхней конечности с ремешком [P] Пекин: CN113894771A, 07 января 2022 г.
5. Робот-экзоскелет с поддержкой верхних конечностей Ван Тянь [P] Провинция Чжэцзян: CN113400283B, 17 мая 2022 г.
6. Юань Бо, Чен Го, Ляо Давэй, Луо Фан. Электромеханический экзоскелет верхней конечности и экзоскелетное устройство, которое может помочь в обращении [P] Чунцин: CN114714325A, 08 июля 2022 г.