УДК 621.865.8

РАЗРАБОТКА ПАССИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА НА ОСНОВЕ СТАЛЬНЫХ ПРОФИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

О. Д. ИШУМБАЕВА, В. А. НИКИТИНА, И. Р. ФАЗДАЛОВА,
Д. Р. ФАТКУЛЛИН, Б. С. АХМЕТШИН
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

При ликвидации чрезвычайных ситуаций спасатели выполняют работы, связанные с переносом тяжёлых грузов, удержанием инструмента и длительным пребыванием в неудобных рабочих позах. Промышленные экзоскелеты относятся к средствам защиты опорно-двигательного аппарата, предназначенным для компенсации и (или) перераспределения нагрузки [1]. Для условий аварийно-спасательных работ особый интерес представляют пассивные конструкции, не использующие источник энергии для выполнения основных функций [1].

Цель работы – разработка конструкции пассивного экзоскелета, обеспечивающего перераспределение нагрузки с поясничного отдела позвоночника на нижние конечности при сохранении подвижности пользователя.

Конструкция выполнена на основе центрального стального хребта, поясного ремня и двух наружных телескопических опор ног. Телескопическая регулировка реализована по принципу вложения прямоугольных профилей 40 × 20 × 1 мм и 30 × 15 × 1,5 мм, что позволяет адаптировать конструкцию к росту пользователя. Выбор пассивной схемы соответствует распространённому направлению развития промышленных экзоскелетов, в котором механические упругие элементы обеспечивают поддержку без приводов и аккумуляторов [2].

При расчётной массе переносимого груза 40 кг и динамическом коэффициенте 1,2 общая расчётная нагрузка составляет около 471 Н. Через поясной узел нагрузка распределяется между двумя наружными опорами ног; с учётом принятого коэффициента неравномерности расчётная нагрузка на одну опору составляет около 283 Н. Такая схема соответствует основному принципу пассивных экзоскелетов – созданию механического пути передачи части нагрузки в обход перегружаемых участков тела пользователя [2, 3].

Конструктивная простота позволяет применять стандартный стальной прокат, болтовые соединения и элементы, доступные для изготовления и ремонта в условиях ремонтной базы. При этом при проектировании экзоскелета необходимо учитывать опасности, связанные с ограничением движений, несоответствием кинематики человека и изделия, а также комфортом и безопасностью пользователя [3, 4]. Требования к учёту опасностей и оценке риска при разработке экзоскелетов установлены ГОСТ Р 60.5.2.1–2023 [5].

Для повышения практической применимости в конструкции предусмотрен поясничный шарнирный узел с тремя степенями свободы, обеспечивающий наклон корпуса вперёд до 60°, боковые наклоны в пределах ±20° и осевой поворот до ±30° с регулируемыми ограничителями. Антропометрический диапазон регулировок рассчитан на рост 160...190 см и обхват талии 80...120 см. Несущие элементы предполагается изготовлять из стали 09Г2С с антикоррозионным покрытием, а общая масса изделия не должна превышать 8...10 кг. Предусмотрена совместимость с защитной одеждой, каской, дыхательным аппаратом и носимой радиостанцией. Для оценки эффективности планируется проведение стендовых испытаний с имитацией подъёма, удержания и перемещения груза, а также лабораторных исследований с регистрацией электромиографии мышц-разгибателей спины, частоты сердечных сокращений и субъективной утомляемости. Условия эксплуатации приняты в диапазоне температур от минус 30 °С до плюс 50 °С при повышенной влажности, запылённости и вибрации [3]. Транспортировка и хранение обеспечиваются складыванием опор и укладкой изделия в защитный чехол с ручками. Маркировка содержит предельную нагрузку, диапазоны регулировок и дату изготовления, а техническое обслуживание включает осмотр перед каждым применением, проверку затяжки соединений и смазку подвижных узлов.

Разработанная конструкция ориентирована на снижение физической нагрузки при выполнении аварийно-спасательных работ за счёт механического перераспределения усилий. Результаты расчётного обоснования показывают возможность применения выбранной схемы стального пассивного экзоскелета при заданной расчётной нагрузке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Экзоскелеты промышленные. Классификация. Термины и определения : ГОСТ Р 12.4.306–2023. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2023.

2. Back-Support Exoskeletons for Occupational Use: An Overview of Technological Advances and Trends / S. Toxiri, M. B. Näf, M. Lazzaroni [et al.] // IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors. – 2019. – Vol. 7, № 3–4. – P. 237–249.

3. Passive Back Support Exoskeleton Improves Range of Motion Using Flexible Beams / M. B. Näf, A. S. Koopman, S. Baltrusch [et al.] // Frontiers in Robotics and AI. – 2018. – Vol. 5. – Art. 72.

4. Effects of industrial back-support exoskeletons on body loading and user experience: an updated systematic review / T. Kermavnar, A. W. de Vries, M. P. de Looze, L. W. O’Sullivan // Ergonomics. – 2021. – Vol. 64, № 6. – P. 685–711.

5. Роботы и робототехнические устройства. Экзоскелеты. Общие требования по учёту опасностей и оценке риска при разработке экзоскелетов : ГОСТ Р 60.5.2.1–2023. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2023.