

¹Н.Т. Жетенбаев*, ²Е.С.Нұрғизат, ²Г.К. Балбаев, ²Б.Т. Шингисов,² Г.Д. Естемесова

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева, Алматы, Казахстан

*e-mail: nursultan.zhetenbaev@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСКУССТВЕННЫХ МЫШЦ

Аннотация. Цель этой статьи – представить обзор применения пневматических искусственных мышц. Высокая прочность и небольшой вес, в то время как про различные типы пневматических искусственных мышц с различными техническими характеристиками появилась относительная научная литература. Эта статья будет обобщать ключевые приложения пневматических искусственных мышц, которые сосредоточены на следующие области: биороботы, медицинские, промышленные, аэрокосмические цели.

Ключевые слова: пневматические искусственные мышцы, мышцы McKibben, биороботы, экзоскелет для ног, робот костюм, манипулятор.

Введение. Пневматическая искусственная мышца McKibben – это жидкая мышца или биомимикрический трубчатый привод, который характеризуется уменьшением длины срабатывания под давлением.

Самый известный член семьи McKibben-а врач Джозеф Л. МакКиббен в 1950-х годах изобрел мышцы, которые были использованы в качестве ортопедического прибора для пациентов с полиомиелитом, в то время как первая коммерциализация пневматической искусственной мышцы была сделана Bridgestone Rubber Company в Японии, в 1980-х годах. Пневматическая искусственная мышца — это очень легкие приводы, которые характеризуются плавным, точным и быстрым откликом, а также способны производить значительную силу, когда полностью растягиваются [1-2].

Изготовление типичной пневматической искусственной мышцы можно найти как длинную трубку из синтетического или натурального каучука, обернутую вручную сеткой, такой как кевлар, под заданным углом. Защитное резиновое покрытие окружает волокнистую обертку, и соответствующие металлические фитинги прикрепляются на каждом конце. Пневматическая искусственная мышца преобразует пневматическую мощность в силу тяги и имеет много преимуществ перед обычными пневматическими цилиндрами, такими как высокое отношение силы, к весу, различные возможности монтажа, нет механических частей, заниженный расход сжатого воздуха и низкая стоимость. Когда сжатый воздух подается внутрь резиновой трубки, она сжимается в длину и расширяется радиально. Когда воздух выходит из трубки, внутренняя сетка действует как пружина, которая восстанавливает трубку в ее первоначальном виде. Это приведение в действие напоминает срабатывание пневматического одностороннего действия цилиндра с пружинным возвратом, при этом это обратимая физическая деформация во время сокращения и расширение мышцы приводит к линейному движению. Следует отметить, что наиболее значительным преимуществом использования пневматической искусственной мышцы в приложениях для них — это управление положением, так как должна быть только одна аналоговая переменная управляемой. В то же время для той же операции пневматический цилиндр является двумя аналоговыми переменными, которые должны контролироваться. В результате в пневматическом цилиндре труднее найти равновесие между двумя манометрическими давлениями в камерах, что для этого случая и является пневматической искусственной мышца.

Типичные типы пневматической искусственной мышцы и соответствующие наименования, изображены на рисунке 1 [1-3].

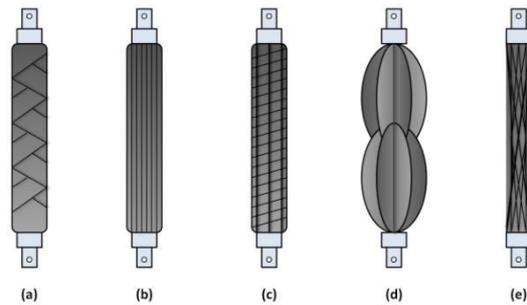


Рисунок 1. Различные типы пневматической искусственной мышцы:

(a) Мышца McKibben, (b) складчатая мышца, (c) мышечная сетка Yarlott, (d) мышца ROMAC и (e) гиперплоидная мышца Paynter.

Методы

Применение пневматической искусственной мышцы.

Биоробот технические применения.

До сих пор пневматические искусственные мышцы применялись в основном в области биороботических применений или в биомиметических роботах. Поскольку эти исполнительные механизмы напоминают характеристики реальных скелетных мышц, исследователи пытались эмулировать «мягкую» совместимую структуру органических мышц, костей, сухожилий и кожи с помощью пневматических искусственных мышц. Этот подход привел к разработке биологически вдохновленных роботов, которые имитируют морфологию и физиологию человека и животных. Несколько биороботических применений пневматической искусственной мышцы представлены на рисунке 2 [4].

Первопроходцем, управляемым пневматической искусственной мышцей - роботом, был Shadow Biped Walker (рисунок 2.1) от Shadow Robot Company, гуманоидного робота в натуральную величину, который разрабатывался с 1988 года. Двадцать восемь пневматических искусственных мышц (четырнадцать на каждой ноге) действовали через восемь суставов робота, что дает в общей сложности двенадцать степеней свободы. Гуманоидный робот Intelligent Soft Arm Control или ISAC (рис. 2.2) состоял из двух плеч с шестью степенями свободы и нескольких пневматических искусственных мышц, которые антагонистически приводили в действие каждый сустав плеч. Конструкция шестиногого насекомоподобного робота, называемого «Воздушный жук» (рис. 2.3) с текучими мышцами в качестве исполнительных механизмов и концепцией управления антагонистическими исполнительными механизмами представлен. Был построен прыжковый робот (рис. 2.4), состоящий из нижней и верхней ноги, бедра и тела, которые скользят вдоль направляющего вала с использованием плиссированных пневматических искусственных мышц для движения коленного сустава. Авторы разработали четырехногий прототип робота с четырехсторонним динамическим приводом с пневматическим приводом (PANTER) (рис. 2.5) [5].

Каждая нога PANTER имела четыре активные степени свободы и приводилась в действие пневматическая искусственная мышца. Был представлен робот «Аях» (рис. 2.6). Аях был роботом, вдохновленным тараканами, с ногами которыми, управляли через несколько пневматических искусственных мышц. Двухногий робот «Лису» (рис. 2.7) это двухмерный шагающий робот с двумя шарнирными ножками и корпусом, который использовал 12 пневматических искусственных мышц для 6 степеней свободы. Автономный управляемый двухногий робот «Stumpy» (рис. 2.8) пневматическая искусственная мышца авторы, разработали роботизированную пневматическую мышцу с пневматическим приводом (рис. 2.9), включающую базовый человеческий палец, большой палец, предплечье и локоть движения. Был создан экспериментальный пневматический мышечный велосипедный аппарат

(рис. 2.10), который состоит из модели нижних конечностей человека с одной степенью свободы, приводимой в действие пневматическую искусственную мышцу и установленной на неподвижном велосипеде. Трехногий робот (рис. 2.11) с антагонистическими парами пневматической искусственной мышцы, управляемой сетью нелинейных осцилляторов, был разработан и представлен робот с прыжковым приводом и посадкой с помощью пневматического привода под названием «Mowgli» (рис. 2.12). Искусственная костно-мышечная система Mowgli состояла из шести пневматических искусственных мышц [6].

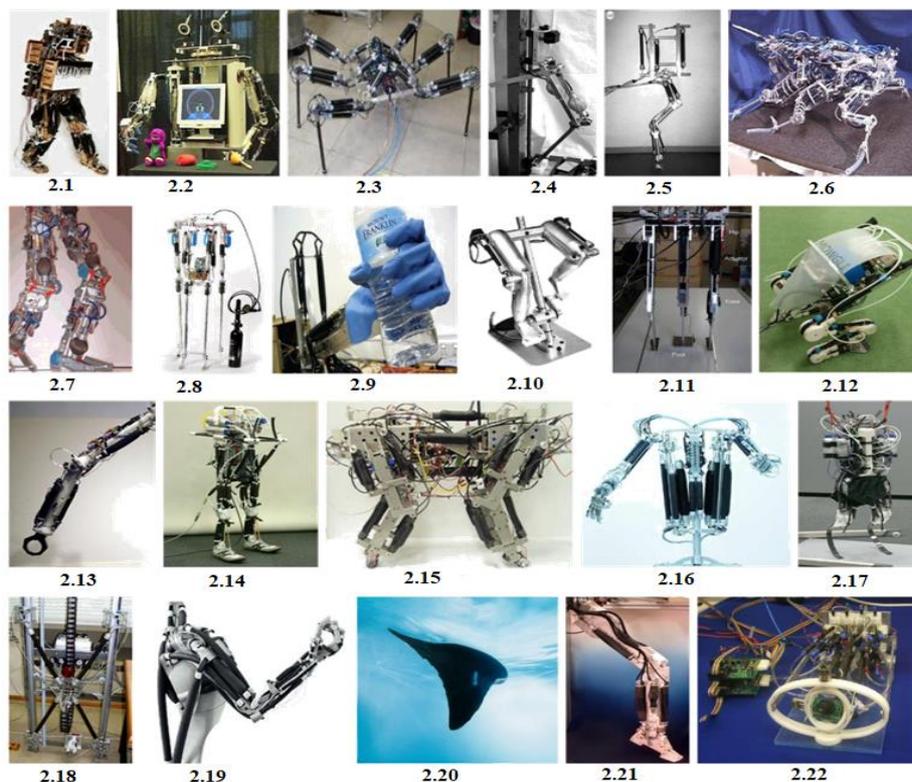


Рисунок 2. Биороботические применения пневматической искусственной мышцы: (2.1) ходунки с теньями, (2.2) Isac, (2.3) воздушная подушка, (2.4) прыжковый робот, (2.5) ножка Panther, (2.6) Ajax, (2.7) Lucy, (2.8) Stumpy, (2.9) Недорогая гуманоидная рука, (2.10) Пневматический велосипед, (2.11) Трехногий робот, (2.12) Mowgli, (2.13) Роботизированная рука, (2.14) Двухногий робот, (2.15) Четырехсторонний робот, (2.16) Пневматический торс, (2.17) Пневматический робот-атлет, (2.18) Пневматический альпинистский робот, (2.19) Рука Airic, (2.20) Aqua Ray, (2.21) Ножка робота-тени, (2.22) Роботизированный глаз с пневматическим приводом.

В концепции гибридного приведения в действие была подтверждена на плече с двумя степенями свободы (рис. 2.13), в котором использовались, по сути, безопасные пневматические искусственные мышцы, дополненные небольшими электрическими приводами, роботизированными звеньями, созданными человеком и костюю, и недавно разработанными распределенными компактными регуляторами давления. Был представлен двухногий робот (рис. 2.14) с искусственной костно-мышечной системой на основе пневматической искусственной мышцы. Авторы сконструировали и управляли четырехугольным роботом (рис. 2.15) с пневматической искусственной мышцей в антагонистических парах для управления мышечно-скелетной системой. Был разработан полностью управляемая пневматическая искусственная мышца торса гуманоидного мышечного робота под названием «Zwei Arm Roboter» (рис. 2.16), в человекоподобных пропорциях и функциональности. В роботе пневматического спортсмена (рисунок 2.17) был представлен опорно-двигательный аппарат, управляемый ЧУКОМ и прикладной

человеческой паттерне активации мышц для динамического двуногого бега. Разработка и управление роботом для вертикального лазания (рис. 2.18), приводимый в действие четырьмя пневматическими искусственными мышцами, была описана Компанией Festo AG & Co. Они сконструировали роботизированную руку «Airic» (рис. 2.19), на которой изображены искусственные кости и мышцы. В этом роботе костная структура перемещалась через 30 пневматических искусственных мышц с использованием очень маленьких клапанов, основанных на пьезо-технологии. Кроме того, Festo AG & Co. представила робота «Aqua ray» (рис. 2.20), рыбу с дистанционным управлением, использующую шесть пневматических искусственных мышц в трех антагонистических парах, которые перемещают два крыла и хвост с помощью искусственных сухожилий. Shadow Robot Company представил Shadow Robot Leg (рисунок 2.21), роботизированная нога с пневматическим искусственным мышцом, приводимая в действие человеком, (рисунок 2.20) разработанная для исследования миоэлектрического контроля протезных ног с механическим приводом [1-7].

Медицинское применение

Среди нескольких преимуществ исполнительного механизма пневматической искусственной мышцы - способность обеспечивать высокую выходную мощность при относительно небольших весах и присущие им соответствия, что позволяет удовлетворить потребности в безопасности, простоте и легкости, необходимые для взаимодействия человека и робота. Эти характеристики в сочетании с тем фактом, что пневматическая искусственная мышца обладает свойствами, аналогичными со свойствами человеческой мышцы, делают его перспективным выбором исполнительного механизма для терапевтических устройств, которые предназначены для реабилитационной терапии пациентов, страдающих дегенеративными заболеваниями мышц, нарушениями конечностей или неврологическими травмами, которые влияют на их кинетические способности. В этом подразделе будут представлены пневматические искусственные мышцы, ориентированные на медицинские приложения. Большинство из этих приложений изображены на рисунке 3 [1-8].



Рисунок 3. Медицинское применение пневматической искусственной мышцы: (3.1) пневматическая искусственная мышца активированного предплечья, (3.2) Костюм мышц, (3.3) Ортез на голеностопном суставе, (3.4) Руперт, (3.5) Пневматический ортез бедра, (3.6) Пневматический ортез стопы, (3.7) экзоскелет верхней части туловища, (3.8) экзоскелет верхней части тела, (3.9) экзоскелет верхней части тела, (3.10) экзоскелет нижней части тела, (3.11) вспомогательная перчатка с пневматическим приводом, (3.12) устройство для реабилитации коленного сустава, (3.13) ортез для дома тренировки, (3.14) Экзокинетическое оборудование для восстановительных упражнений.

Сообщалось о работе пневматической искусственной мышцы, используемого в прототипе робота-манипулятора, установленного на инвалидной коляске. Разработка и управление системой Human Muscle Enhancer (HME) была описана в системе расширения мышечных возможностей субъектов, нуждающихся в частичной поддержке походки нижней части тела. Конструкция двуногой системы движения использовала пневматическую искусственную мышцу для обеспечения пневматической мощности, необходимой для работы роботизированного ортеза с поддержкой движения [1].

В работе авторы изучили использование регулируемых и контролируемых пар антагонистических пневматических искусственных мышц, соответствующих нормативным требованиям, при создании ловких протезов рук и создании вспомогательного устройства, которое может быть использовано для увеличения силы тех, кто страдает от дегенеративных заболеваний мышц, пневматическая искусственная мышца, управляемая протезным предплечьем (рис. 3.1) с группами мышц-сгибателей и разгибателей. Развитие мышечного костюма броневое типа (рис. 3.2), обеспечивающего мышечную поддержку парализованным пациентам. Мышечный костюм представлял собой одежду без металлического каркаса, в которой использовались пневматические искусственные мышцы, приводимые в движение сжатым воздухом. Был создан мощный ортез голеностопного сустава (рис. 3.3) для реабилитации ног. Пневматическая искусственная мышца использовалась, чтобы обеспечить единственную суставную поддержку подошвенного сгибания в различных фазах походки. Было описано терапевтическое устройство, называемое RUPERT (рис. 3.4), которое имело пять степеней свободы и было запитано через четыре пневматических искусственных мышц. Это устройство могло обеспечить дополнительную терапию в дополнение к клиническому лечению пациентов с нарушениями верхних конечностей. Экзоскелет (рис. 3.5), состоящий из тазобедренного ортеза с пневматической искусственной мышцей, был разработан, чтобы помочь движениям нижней конечности, когда был установлен физический недостаток. Авторы разработали мощный ортез голеностопного сустава (рис. 3.6), в котором использовались пневматические искусственные мышцы для оказания помощи пациентам во время реабилитации походки после травмы. Была представлена конструкция экзоскелета рычага с пятью степенями свободы пневматической искусственной мышцы (рис. 3.7) для обучения и реабилитации в виртуальных средах. Авторы разработали совместимые с пневматическими искусственными мышцами экзоскелеты, которые позволяют выполнять физиотерапию верхней (Рис. 3.8-3.9) и нижней конечности (рис. 3.10). Была описана носимая перчатка с усилителем мощности (рис. 3.11), приводимая в действие резиновыми пневматическими искусственными мышцами [1-9].

Промышленное применение

Использование пневматической искусственной мышцы в строительстве промышленных роботов получило значительное внимание в последние годы. Пневматические искусственные мышцы способны генерировать высокие крутящие моменты на низких и умеренных скоростях, могут легко устанавливаться без зубчатой передачи и работать как привод переносных механизмов благодаря их легким свойствам. Обладая, кроме того, естественной совместимостью и ударо-прочностью, пневматические искусственные мышцы являются подходящим решением для приведения в действие промышленного оборудования и, в частности, промышленных роботов для безопасного взаимодействия человека с роботом. Несколько промышленных применений пневматических искусственных мышц представлены на рисунке 4[10].

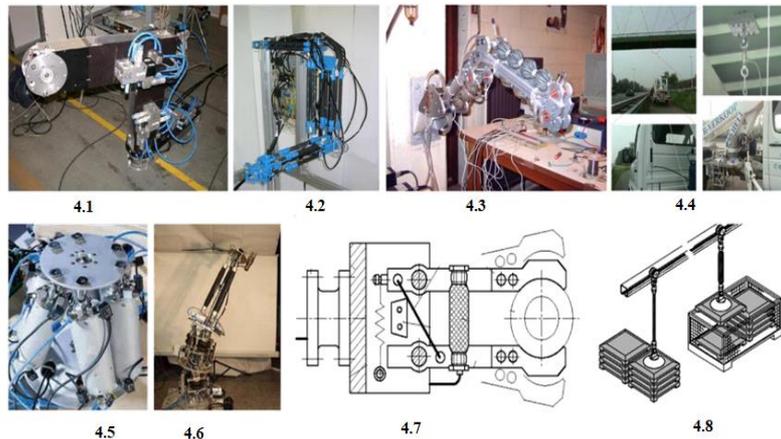


Рисунок 4. Промышленное применение пневматической искусственной мышцы: (4.1) Пневматический робот 3-степени свободы, (4.2) пневматическая искусственная мышца - система манипуляторов, управляемых пневматической искусственной мышцей, (4.3) 2- степени свободы планарный робот-манипулятор (4.4) пневматическая искусственная мышца, используемые в модальных параметрах мостов, (4.5) Параллельно-кинематический инструмент hexapod, (4.6) Гибридный робот для безопасного взаимодействия человека с роботом, (4.7) Промышленный захват, (4.8) Система позиционирования.

Авторы разработали многоцелевой манипулятор с тремя пальцами и противоположным большим пальцем, приводимый в действие 18 плетеными пневматическими искусственными мышцами. Разработка модульного пневматического элемента с одной степенью свободы и роботизированной руки с тремя степенями свободы (рис. 4.1) на основе резиновых пневматических искусственных мышц была разработана резиновая система манипулятора с приводом от пневматических искусственных мышц (рис. 4.2) с шестью степенями свободы и планарный робот-манипулятор с двумя степенями свободы (рис. 4.3), который помогал обрабатывать тяжелые грузы и приводился в действие с помощью плиссированной пневматической искусственной мышцы. Авторы предлагают прототип конструкции телеоперационной установки для извлечения радиоактивного материала, в которой используется комбинация традиционного полюса манипуляции с ручным управлением в сочетании с пневматической искусственной мышцей. Идентификация модальных параметров мостов (рис. 4.4) с использованием пневматических искусственных мышц был введен параллельный кинематический инструмент hexapod (рис. 4.5), управляемый пневматическими искусственными мышцами. Робот состоял из шести дискретных линейных приводов, каждый из которых был собран как антагонистической установке пневматической искусственной мышцы с датчиками давления и положения. Авторы разработали прототип гибридного робота (рис. 4.6), который включал два сильфона и один модуль с пневматической искусственной мышцей приводом для безопасного взаимодействия человека с роботом [1].

Сообщалось о других промышленных применениях приводов пневматических искусственных мышц. Одним из них был процесс захвата (рис. 4.7), когда пневматическая искусственная мышца была установлена достаточно близко к центру вращения пальца, в то время как эта короткая мышца была достаточной для выполнения зажимного движения. Пневматическую искусственную мышцу также можно использовать в простых системах позиционирования (рис. 4.8). В этом случае обрабатываемые детали можно поднимать или опускать по мере необходимости, создавая давление или истощая мышцу с помощью ручного клапана [1-10].

Аэрокосмические применения

Авторы разработали систему —AGAS, автономно управляемую развертываемую систему воздушной капли, которая состояла из круглого парашюта, которым управляли через четыре пневматических искусственных мышц, в то время как пневматическая искусственная

мышца -активируемая заслонка задней кромки для управления полетом (рис. 5.1) была представлена приложением для схем приведения в действие морфирующей ячейки для секции крыла и закрылков задней кромки, для крыльев или лопастей вертолета.



Рисунок 5. Аэрокосмическое и другое применение пневматических искусственных мышц: (5.1) пневматическая искусственная мышца -активируемая заслонкой задней кромки, (5.2) FM-сиденье движения, (5.3) Robo Thespian, (5.4) Deus Ex Machina.

Другие применения

Было разработано сиденье «Motion Seat» (рис. 5.2), имитатор вождения и полета, основанный на шестигранной конструкции с 6 пространственно ориентированными ПАМ, которые перемещали сиденье по всем 6 осям, а также действовали как пассивная подвеска. Компания Engineered Arts Limited (Penryn, Корнуолл, Великобритания 2010) разработала «Robo Thespian» (Рисунок 5.3). Этот робот был роботизированный человекоподобный робот в натуральную величину, созданный для обучения, общения, взаимодействия и развлечений. Джейк Лоняк (Art Center Pasadena, California, 2008) разработал электрический проект «Deus Ex Machina» (рисунок 5.4) для одного пассажира — это, стоянка в вертикальном положении и носимый мотоцикл. С семью искусственными позвонками за шлемом, для поддержки головы водителя, управление «Deus Ex Machina» было достигнуто с помощью 36 пневматических мышц и 2 линейных приводов в сочетании с телом гонщика [1].

Результаты

Пневматическая искусственная мышца нашла применение в следующих областях знаний: биороботы, медицинские, промышленные, аэрокосмические цели. Пневматическая искусственная мышца преобразует пневматическую мощность в силу тяги и имеет много преимуществ перед обычными пневматическими цилиндрами, такими как высокое отношение силы, к весу, различные возможности монтажа, нет механических частей, заниженный расход сжатого воздуха и низкая стоимость.

В данной работе результат заключается в медицинский экзоскелет нижних конечностей и ортеза.

С каждым годом наблюдается рост количества людей с ограниченной мобильностью. Этот фактор влияет на качество жизни людей. Для таких людей необходимо проводить различного рода физиотерапевтические процедуры. С помощью роботизированных устройств производится тренировка движений людей с помощью контролируемых упражнений. Недостатки существующих реабилитационных роботизированных решений выявили необходимость разработки малозатратных устройств, позволяющих проводить реабилитацию пациентов с поврежденными конечностями. Экзоскелет с искусственными мышцами поможет людям восстановить функцию отдельных суставов нижних конечностей, которые успешно используются для реабилитации больных после травм. Также мышцы могут выступать связующим звеном между человеческим телом и сенсорами, которые могут быть использованы при создании протезов нового поколения.

Обсуждение

В этой статье был представлен обзор применения пневматических искусственных мышц. Было представлено краткое моделирование широко используемой геометрической модели пневматической искусственной мышцы, в то время как внимание было сосредоточено на

наиболее значимых приложениях в следующих областях: биоробот, в медицине, промышленные и аэрокосмические применения. Эти приложения сопровождаются достаточным количеством ссылок, превращая эту статью в фундаментальное руководство по началу работы с приложениями с пневматическими искусственными мышцами.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Qin Tu., Yanjie Wang., Donghai Yue., and Frank Agyen Dwomoh «Analysis on the Impact Factors for the Pulling Force of the McKibben Pneumatic Artificial Muscle by a FEM Model» Hindawi Journal of Robotics Volume 2020, 1-11 p.

[2] G. Zhong, Y. Hou, and W. Dou, «A soft pneumatic dexterous gripper with convertible grasping modes», International Journal of Mechanical Sciences, vol. 153, pp. 445–456, 2019.

[3] Z. S. Sun, Z. H. Guo, and W. Tang, «Design of wearable hand rehabilitation glove with soft hoop-reinforced pneumatic actuator», Journal of Central South University, vol. 26, no. 1, pp. 106–119, 2019.

[4] Jakub Takosoglu «Angular position control system of pneumatic artificial muscles» Open Eng. 2020; 10:681–687

[5] Morita R., Nabae H., Endo G., and Suzumori K., «A Proposal of a New Rotational-Compliant Joint with Oil-Hydraulic McKibben Artificial Muscles», J. Adv. Rob., 2018, 32(9), pp. 511–523.

[6] Thomalla S., and Van De Ven J., “Modeling and Implementation of the McKibben Actuator in Hydraulic Systems,” IEEE Trans. Rob., 34(6), pp. 1593–1602., 2018.

[7] Ashwin K.P., and Ghosal A., «Static Modeling of Miniaturized Pneumatic Artificial Muscles, Kinematic Analysis, and Experiments on an Endoscopic End-Effector», IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2019, 24(4), p. 1429

[8] Andrikopoulos G., Nikolakopoulos G., and Manesis S., «A survey on applications of pneumatic artificial muscles», in Control & Automation (MED), 2011 19th Mediterranean Conference on. IEEE, 2011, pp. 1439–1446.

[9] Escobar F., Diaz S., Gutierrez C., Ledeneva Y., Hernández C., Rodríguez D., Lemus R., «Simulation of control of scara robot actuated by pneumatic artificial muscles using RNAPM» Vol.12, México, October 2014, pp.2-6.

[10] I. Boblan and A. Schulz, «A Humanoid Muscle Robot Torso with Biologically Inspired Construction», in ISR 2010, 41st International Symposium on Robotics and ROBOTIK 2010, 6th German Conference on Robotics, Munich, Germany, 2010.

[11] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К. Робототехника және өнеркәсіптегі жасанды бұлшық еттер. ҚазҰТЗУ Хабаршысы, №2, 2020, Алматы, Қазақстан.

[12] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К. «Искусственные мышцы в бионике и робототехнике», Труды Сатпаевских Чтений, 2019, Алматы, Қазақстан, с. 1138-1142.

[13] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К. «Робототехникадағы жасанды бұлшықеттер» «Global science and innovations 2020: Central Asia», серия «Технические науки», I Том, № 3(3), 2020, Нур-Султан, с.33-37.

[14] Жетенбаев Н.Т., Балбаев Г.К. «McKibben жасанды бұлшықеті». Материалы международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі», 2020, Алматы, Қазақстан, 2020, с. 69.

[15] Жетенбаев Н.Т., Аманкосов Т. Г., Сакаев А.Д., Балбаев Г.К.. Разработка и тестирование искусственных мышцы. Труды Сатпаевских чтений, Т. II, 2020, Алматы 2020.

REFERENCES

[1] Qin Tu., Yanjie Wang., Donghai Yue., and Frank Agyen Dwomoh «Analysis on the Impact Factors for the Pulling Force of the McKibben Pneumatic Artificial Muscle by a FEM Model» Hindawi Journal of Robotics Volume 2020, 1-11 p.

[2] G. Zhong, Y. Hou, and W. Dou, «A soft pneumatic dexterous gripper with convertible grasping modes», International Journal of Mechanical Sciences, vol. 153, pp. 445–456, 2019.

[3] Z. S. Sun, Z. H. Guo, and W. Tang, «Design of wearable hand rehabilitation glove with soft hoop-reinforced pneumatic actuator», Journal of Central South University, vol. 26, no. 1, pp. 106–119, 2019.

[4] Jakub Takosoglu «Angular position control system of pneumatic artificial muscles» Open Eng. 2020; 10:681–687

[5] Morita R., Nabae H., Endo G., and Suzumori K., «A Proposal of a New Rotational-Compliant Joint with Oil-Hydraulic McKibben Artificial Muscles», J. Adv. Rob., 2018, 32(9), pp. 511–523.

- [6] Thomalla S., and Van De Ven J., “Modeling and Implementation of the McKibben Actuator in Hydraulic Systems,” IEEE Trans. Rob., 34(6), pp. 1593–1602., 2018.
- [7] Ashwin K.P., and Ghosal A., «Static Modeling of Miniaturized Pneumatic Artificial Muscles, Kinematic Analysis, and Experiments on an Endoscopic End-Effector», IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2019, 24(4), p. 1429
- [8] Andrikopoulos G., Nikolakopoulos G., and Manesis S., «A survey on applications of pneumatic artificial muscles», in Control & Automation (MED), 2011 19th Mediterranean Conference on. IEEE, 2011, pp. 1439–1446.
- [9] Escobar F., Diaz S., Gutierrez C., Ledeneva Y., Hernández C., Rodríguez D., Lemus R., «Simulation of control of scara robot actuated by pneumatic artificial muscles using RNAPM» Vol.12, México, October 2014, pp.2-6.
- [10] I. Boblan and A. Schulz, «A Humanoid Muscle Robot Torso with Biologically Inspired Construction», in ISR 2010, 41st International Symposium on Robotics and ROBOTIK 2010, 6th German Conference on Robotics, Munich, Germany, 2010.
- [11] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K. Robototekhnika zhane onerkasiptegi zhasandy bulshyk etter. ҚазҰТЗУ Хабаршысы, №2, 2020, Almaty, Kazakhstan.
- [12] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K.. «Iskusstvennye myshtsy v bionike i robototekhnike», sektsiya «Robototekhnicheskie sistemy i priborostroenie», Trudy Satpaevskikh Chtenii, 2019, Almaty, Kazakhstan, s. 1138-1142.
- [13] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K. «Robototekhnikadagy zhasandy bulshyketter» «Global science and innovations 2020: Central Asia», seriya «Tekhnicheskie nauki», I Tom, № 3(3), 2020, Nur-Sultan, s.33-37.
- [14] Zhetenbaev N.T., Balbaev G.K.. «McKibben zhasandy bulshyketi». Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Farabi alemi», 2020, Almaty, Kazakhstan, 2020, s. 69.
- [15] Zhetenbaev N.T., Amankosov T. G., Sakaev A.D., Balbaev G.K.. Razrabotka i testirovanie iskusstvennykh myshtsy. Trudy Satpaevskikh chtenii, T. II, 2020, Almaty 2020.

Н.Т. Жетенбаев, Е.С. Нұрғизат, Г.К. Балбаев, Б.Т. Шингисов, Г.Д. Естемесова

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: nursultan.zhetenbaev@mail.ru

ПНЕВМАТИКАЛЫҚ ЖАСАНДЫ БҰЛШЫҚЕТТЕРДІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫН ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Бұл мақаланың мақсаты пневматикалық жасанды бұлшықеттерді қолдануға шолу жасау. Жоғары беріктігі мен салмағы аз, ал әртүрлі техникалық сипаттамалары бар пневматикалық жасанды бұлшықеттердің әртүрлі түрлері туралы салыстырмалы ғылыми әдебиеттер пайда болды. Бұл мақалада пневматикалық жасанды бұлшықеттердің негізгі қосымшалары жинақталды келесі бағыттарға: биороботтар, медициналық, өнеркәсіптік, аэроғарыштық мақсаттар үшін.

Негізгі сөздер: пневматикалық жасанды бұлшықеттер, McKibben бұлшықеттері, биороботтар, аяқ экзоскелеті, робот костюмі, манипулятор.

N.T. Zhetenbaev, Y.S. Nurgizat, G.K. Balbayev, B.T. Shingissov, G.D. Yestemessova

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: nursultan.zhetenbaev@mail.ru

RESEARCH AND APPLICATION OF PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLES

Abstract. The purpose of this article is to provide an overview of the application of pneumatic artificial muscles. High strength and light weight, while there is a relative scientific literature about different types of pneumatic artificial muscles with different technical characteristics. This article will summarize the key applications of pneumatic artificial muscles that focus on the following areas: biorobots, medical, industrial, aerospace purposes.

Keywords: pneumatic artificial muscles, McKibben muscles, biorobots, exoskeleton for legs, robot suit, manipulator.