

*Воробьева Анастасия Валерьевна*¹
89174943516@mail.ru

*Месропян Арсен Владимирович*¹
avm_74@mail.ru

¹*Уфимский государственный авиационный технический университет,
Россия, г. Уфа*

ВЛИЯНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО РАЗБРОСА НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА СИСТЕМЫ ПОВОРОТА ЭКЗОСКЕЛЕТНОГО УСТРОЙСТВА

Аннотация. На основании анализа научно-технической литературы и работ, выполненных по экзоскелетной тематике, определены основные проблемные области данных устройств (отсутствие компактных и мощных источников питания; прочные и лёгкие конструкции; низкая энергоэффективность механико-приводной части; сложная система управления; безопасность взаимодействия с человеком), которые обуславливают необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение функциональных и эксплуатационных характеристик систем исполнительных приводов экзоскелетов. Рассчитаны и построены основные переходные процессы, с учётом разброса стохастических параметров.

Ключевые слова: стохастический, моделирование, экзоскелет, гидропневматика.

*Vorobyeva Anastasia*¹
89174943516@mail.ru

*Mesropyan Arsen*¹
avm_74@mail.ru

¹*Ufa State Aviation Technical University, Russia, Ufa*

THE INFLUENCE OF STOCHASTIC VARIATION OF SOME FACTORS IN THE MODELING OF HYDRO-PNEUMATIC DRIVE SYSTEM OF ROTATION OF AN EXOSKELETON DEVICE

Abstract. After the research and development papers on exoskeletons were analyzed, the following principal problem domains have been discovered: no

compact and high-capacity power supply units; no durable and light-weight designs; low energy efficiency of mechanics and actuators; complicated control system; insufficient operational safety. These problems call for additional research and development to improve functional and operating characteristics of exoskeleton actuator systems. The main transients were calculated and constructed considering variations of stochastic parameters.

Keywords: stochastic, parameters, exoskeleton, system, rotation.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили экзоскелетные устройства, предназначенные для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений за счёт внешнего каркаса и приводящих частей [1].

Экзоскелет повторяет биомеханику человека для пропорционального увеличения развиваемых усилий опорно-двигательного аппарата пользователя.

На основе данных исследований Global Markets Insight и Markets&Markets объем поставок экзоскелетов к 2024 году превысит 86 000 единиц [2].

Перспективным направлением в области улучшения когнитивных и физических способностей человека является создание экзоскелетов, представляющих собой портативные роботизированные устройства, позволяющие не только увеличивать, но и полностью замещать, в случае необходимости, утраченные ранее функции опорно-двигательного аппарата человека.

Аналитический обзор существующих экзоскелетов позволяет выделить сферы возможного применения данных устройств, к которым относятся: автономное передвижение людей и клиническое лечение людей с физическими ограничениями, военное применение, погрузочно-разгрузочные работы и спасательные операции. Сферы применения во многом определяют используемые схемные решения и специфику рабочих процессов, протекающих в экзоскелетных устройствах.

По результатам анализа научно-технической литературы и патентных источников по экзоскелетам [3–9] выявлены общие

для всех типов устройств проблемные области, к которым относятся отсутствие компактных и мощных источников питания, прочных и легких конструкций, низкая энергоэффективность механико-приводной части экзоскелета, сложная система управления и недостаточный уровень безопасности при управлении человеком.

Одним из ключевых направлений развития роботизированных экзоскелетов является разработка мощных и компактных систем исполнительных приводов. В настоящее время в качестве приводов используют гидравлические, электрические и пневматические исполнительные механизмы, к которым предъявляют ряд требований по массогабаритным и функциональным характеристикам: времени автономной работы, скорости и плавности хода, низкому энергопотреблению и быстродействию, обеспечению необходимого количества степеней подвижности, крутящих моментов в суставах, бесшумности, а также устойчивости к погодным и техногенным явлениям.

В результате сравнительного анализа приводов установлено, что пневматический привод превосходит гидравлический и электрический по совокупности таких показателей, как: плавность перемещения, срок службы, время срабатывания выходных устройств, нечувствительность к влиянию запылённости и влажности окружающей среды, влиянию магнитных полей и т. д.

Разработка новых схемных решений, направленных на улучшение функциональных характеристик системы, и исследование рабочих процессов в исполнительных приводах экзоскелетов относится к базовым и критическим промышленным технологиям РФ для создания перспективных видов специальной техники.

Выбор схемного решения экзоскелета с гидropневматическим приводом

Система исполнительных приводов экзоскелета и тип конструктивно-компоновочного исполнения устройства и позволя-

ет выполнять требуемые функциональные характеристики, обеспечивая безопасность человека. В качестве исполнительных приводов экзоскелетов используются механические, гидравлические, пневматические и электроприводные системы.

Наиболее широкое распространение получили экзоскелеты с псевдоантропоморфной конструктивно-компоновочной схемой, в которой используется меньшее число степеней свободы, чем у человека, что позволяет упростить конструкцию, снизить массогабаритные характеристики экзоскелета и увеличить время автономной работы устройства.

На основании анализ предложенных классификаций, технических и эксплуатационных характеристик экзоскелетов, кинематики и динамики движений человека, выбрана принципиальная гидропневматическая схема экзоскелета [10] (см. рис. 1).

Схемное решение экзоскелета на гидропневматической элементной базе включает в себя следующие системы [10]:

- систему стабилизации движения, предназначенную для поддержания равновесия экзоскелета при ходьбе;

- систему передвижения, которая осуществляет локомоторную функцию;

- систему поворота экзоскелета вокруг центральной оси.

На рисунке 1 приняты следующие сокращения и обозначения: К1 – компрессор; ПНА1 – пневмоаккумулятор; ФР1 – фильтр-регулятор; ПР1 – пневмораспределитель 3/2; ППР1–ППР5 – пневмораспределитель с пропорциональным управлением; ПР2–ПР9 – пневмораспределитель 2/2; УОК1–УОК8 – управляемый обратный клапан; ПМ1–ПМ8 – пневмомускулы локомоторной функции; РД1 – пропорциональный регулятор давления; Др1–Др4 – регулируемый дроссель; ПК1, ПК2 – клапан быстрого выхлопа; ПР10, ПР11 – пневмораспределитель 3/2; ОК1, ОК2 – обратный клапан; ДД1–ДД12 – датчик давления; ПД1, ПД2 – поворотный пневмодвигатель; ГМА1, ГМА2 – газомасляный амортизатор; Кр1, Кр2 – игольчатый клапан;

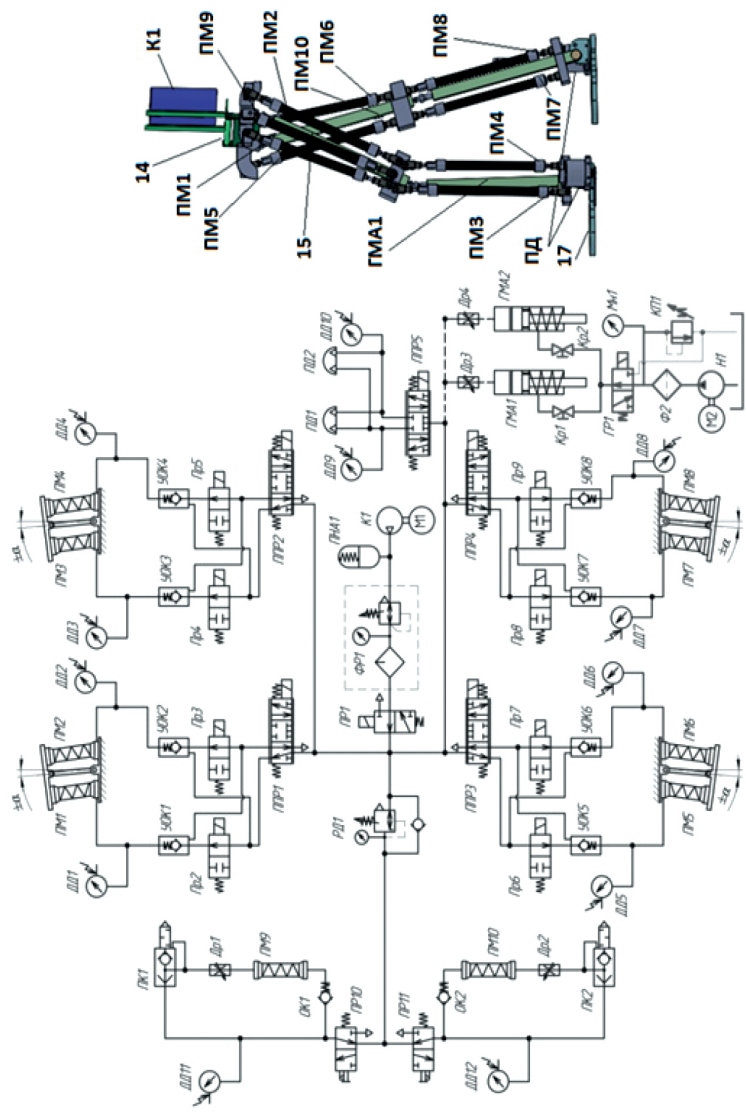


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая и компоновочная схемы экзоскелета

ГР1 – гидрораспределитель; Мн1 – манометр; Ф2 – напорный фильтр; Н1 – насос; 14 – опорная рама; 15, 17 – тазобедренный и голеностопный элемент конструкции.

Моделирование рабочих процессов системы поворота экзоскелета вокруг собственной оси со стохастическими параметрами

Моделирование рабочих процессов системы поворота экзоскелета вокруг собственной оси выполняется в соответствии с расчетными схемами (см. рис. 2).

Нелинейная математическая модель гидропневматического привода системы поворота экзоскелета вокруг собственной оси состоит из системы дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} U - k_{\infty} \cdot \alpha_1(t) = R_p \cdot i(t) + L_p \cdot \frac{d}{dt} i(t) + K_{pe} \cdot \frac{d}{dt} y(t) \\ m_z \cdot \frac{d^2}{dt^2} y(t) = K_{fi} \cdot i(t) - c_{pr} \cdot y(t) \\ \frac{1}{\rho} \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{(k+1) \cdot T_m \cdot R}} \cdot b_{oln} \cdot x(t) \cdot p_{pit} \cdot \varphi_1(\sigma_1) = A_{\varepsilon p1} \cdot a_1 \cdot \frac{d}{dt} \alpha_1(t) + \frac{V_1}{2 \cdot k \cdot p_{pit}} \cdot \frac{d}{dt} p_1(t) \\ \frac{1}{\rho} \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{(k+1) \cdot T_m \cdot R}} \cdot b_{oln} \cdot x(t) \cdot p_2(t) \cdot \varphi_2(\sigma_2) = A_{\varepsilon p1} \cdot a_1 \cdot \frac{d}{dt} \alpha_1(t) + \frac{V_1}{2 \cdot k \cdot p_2(t)} \cdot \frac{d}{dt} p_2(t) \\ J_n \cdot \frac{d^2}{dt^2} \alpha_1(t) = (p_1(t) - p_2(t)) \cdot A_{\varepsilon p1} \cdot a_1 - k_{пов} \cdot \alpha_1(t) - b_v \cdot \frac{d}{dt} \alpha_1(t) \end{array} \right.$$

В соответствии с технической документацией ряд исходных параметров, а именно коэффициент расхода пропорционального пневматического распределителя μ , номинальное давление компрессора p_{pit} и плотность воздуха в интервале рабочих давлений ρ имеют допустимый диапазон разброса значений, которые влияют на выходные характеристики системы.

Результаты численного моделирования привода системы поворота экзоскелета вокруг собственной оси рассчитаны с учётом допустимого разброса значений стохастических коэффициентов, характерные переходные процессы представлены на рисунках 3 и 4.

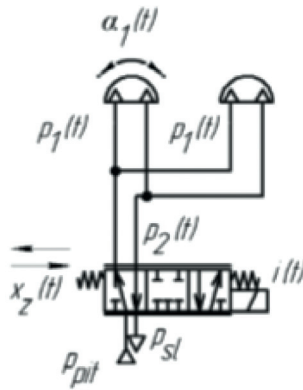


Рис. 2. Расчётная схема гидропневматического привода системы поворота экзоскелета

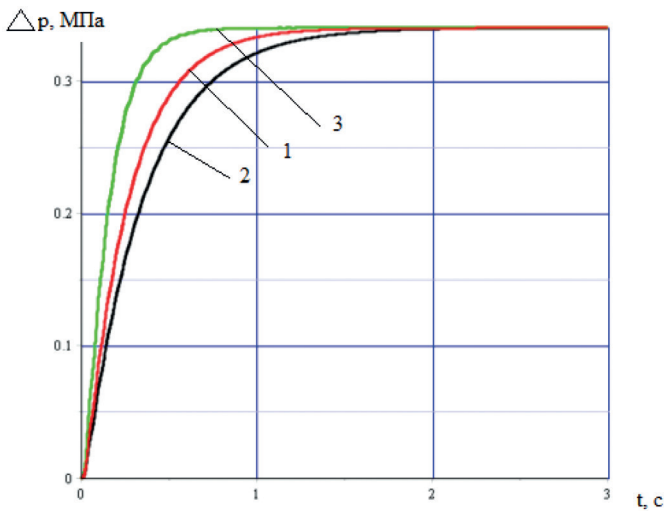


Рис. 3. Переходный процесс перепада давлений на неполноповоротном пневмодвигателе:

1 – график при среднearифметических значениях стохастических коэффициентов; 2 – график при минимальных значениях стохастических коэффициентов; 3 – график при максимальных значениях стохастических коэффициентов

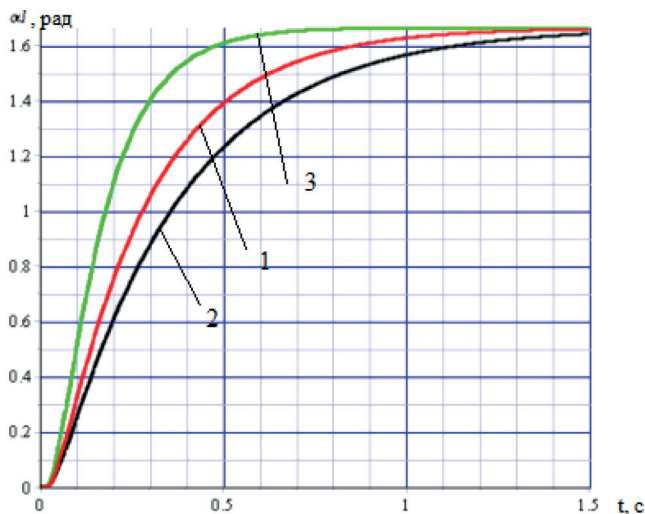


Рис. 4. Переходный процесс изменения угла поворота на неполноповоротном пневмодвигателе:

1 – график при среднеарифметических значениях стохастических коэффициентов; 2 – график при минимальных значениях стохастических коэффициентов; 3 – график при максимальных значениях стохастических коэффициентов

Результаты численного моделирования показывают, что разброс стохастических параметров уравнений математической модели гидропневматического привода системы поворота экзоскелета вокруг собственной оси приводит к значительному разбросу параметров и переходных процессов:

- диапазон изменения значений перепада давлений на неполноповоротном пневмодвигателе между минимумом и максимумом функции достигает $\approx 38\%$

- диапазон изменений значений угла поворота на неполноповоротном двигателе между минимумом и максимумом функции достигает $\approx 42\%$.

Обеспечение идентичности и стабильности характеристик экзоскелетных устройств при серийном производстве возможно за счёт минимизации допустимых разбросов значений пульсаций

давлений и неравномерности подачи источников питания, что, в свою очередь, неразрывно связано с уровнем технологий, применяемых при их производстве и сборке.

Список литературы

1. Экзоскелет // Википедия. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзоскелет> (дата обращения 13.11.2018). [Exoskeleton // Wikipedia (2018, Nov. 13) [Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Exoskeleton>]
2. Роботоассистирующая хирургия и роботы-экзоскелеты [Электронный ресурс]. URL: <https://pan-dia.ru/text/80/226/20267.php> (дата обращения 15.11.2018). [Robot assisted surgery and exoskeleton robots (2018, Nov. 15) NoSQL databases [Online]. Available: <https://pan-dia.ru/text/80/226/20267.php>]
3. **Little R., Irving R. A.** Self contained powered exoskeleton walker for a disabled user [Электронный ресурс]. URL: <http://patents.google.com/patent/US20110066088> (дата обращения: 10.03.2018).
4. **Angold R.** Portable load lifting system [Электронный ресурс]. URL: <http://patents.google.com/patent/US20110264014> (дата обращения: 10.03.2018).
5. **Endo Y.** Walking motion assisting device [Электронный ресурс]. URL: <http://patents.google.com/patent/US20110264015> (дата обращения: 10.03.2018).
6. Экзоскелет EksoBionics [Электронный ресурс]. URL: <http://intl.eksobionics.com/ekso> (дата обращения: 03.09.2015).
7. Экзоскелет POWERLOADER Light [Электронный ресурс]. URL: <http://activelink.co.jp/doc/668.html>. (дата обращения: 03.09.2015).
8. Экзоскелет Raytheon XOS2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.3dnews.ru/599191>. (дата обращения: 03.09.2015).
9. Экзоскелет ReWalk Rehabilitation [Электронный ресурс]. URL: <http://rewalk.com/products/rewalk-rehabilitation>. (дата обращения: 05.06.2013).
10. Пат. № 2565101 РФ, МПК А61Н 3/00 (2006.01). Экзоскелет с пневматической системой управления : Бюл. № 29 : заявл. 09.12.2014 : опубл. 20.10.2015 / Месропян А. В., Оразов А. Т., Коновалов Р. Л. — 4 с. : ил.