

УДК 621.3, 658.8, 681.5

*В. О. Денисюк,
к. т. н., доцент, доцент кафедри економічної кібернетики,
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця*

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКЗОСКЕЛЕТА

*V. Denysiuk,
PhD, associate professor, associate professor of economic cybernetics department,
Vinnytsya national agrarian university, Vinnytsya*

DETERMINATION OF EXOSKELETON EFFICIENCY CRITERION

Розглянуто критерій ефективності використання екзоскелета, який є складним та наукоємним пристроєм. У такому пристрої використовуються найсучасніші розробки і технології, що підвищує вартість самого екзоскелета. Розглянуто вироби, які присутні на сучасному ринку екзоскелетів, що дозволило визначити основні параметри екзоскелетів для порівняння. Критерій становить співвідношення умовної продуктивності пристроя до його вартості. Використання критерія дозволить обрати необхідний за функціями екзоскелет з урахуванням можливих витрат. Надані рекомендації щодо збільшення ефективності використання екзоскелету за рахунок підвищення продуктивності та зменшення витрат на сам екзоскелет.

The criterion of exoskeleton efficiency is considered, that is a difficult and science intensive device. In such device the most modern developments and technology are used, that promotes the cost of exoskeleton. Wares that is present at the modern exoskeleton market are considered, that allowed to define the basic exoskeleton parameters for comparison. A criterion presents correlation of the conditional productivity of device to his cost. The use of criterion will allow to choose needed after the exoskeleton functions taking into account possible charges. Given recommendations in relation to the increase of the use efficiency of exoskeleton due to the increase of the productivity and reduction of exoskeleton charges.

Ключові слова: *екзоскелет, екзокостюм, ринок продукції, критерій, продуктивність.*

Keywords: *exoskeleton, exosuit, market of products, criterion, productivity.*

Постановка проблеми

Екзоскелет - цей пристрій, що повторює біомеханіку людини та пропорційно збільшує зусилля при рухах (від грецьких коренів: ἔξω - зовнішній і σκελετός - скелет) [4]. Представляє конструкцію із зовнішнім каркасом, який дозволяє зняти зайве навантаження з м'язів людини і збільшити її мускульну силу. Основні сфери використання: для розбору завалів при аварійно-рятувальних роботах і ліквідації наслідків стихійних лих або техногенних катастроф, при виконанні операцій пожежогасіння з обмеженими запасами повітря в дихальних апаратах; для допомоги людям з обмеженими фізичними можливостями і транспортування лежачих хворих; для будівельних робіт і для вирішення завдань, що супроводжуються перенесенням вантажів на великі відстані; для розмінування і проведення антитерористичних заходів тощо [3, 4]

У якості питання досліджень є сенс визначити критерій ефективності використання екзоскелетів у різноманітних галузях людської діяльності або узагальнений критерій ефективності екзоскелета.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У існуючих публікаціях розглянуто різноманітні класифікації екзоскелетів та ретроспектива їх розробок [2, 3, 5, 7-9]. За областю практичного використання екзоскелети поділяються на такі:

- 1) для людей із фізичними вадами;
- 2) для вантажних робіт, повні екзоскелети або пристосування (частини екзоскелетів), які зменшують навантаження чи перерозподіляють навантаження при роботі в незручних умовах;
- 3) для військових;
- 5) розробки для використання у мистецьких проектах.

Прогнозоване значне зростання ринку екзоскелетів протягом найближчих 5 років та прибуток становить \$ 1,1 млрд. Із існуючих виробів, найбільш готовими для медичного ринку є моделі HAL-5 Type-B, Honda, ReWalk, EchoAtlet; для промисловості та будівництва - Ekso Vest; для військового ринку – HULC.

Постановка завдання

Зростання ринку екзоскелетів, збільшення їх можливостей, розширення асортименту виробів робить досить актуальною задачу вибору конкретного пристрою, а саме такого, який забезпечує необхідну якість та функції без збільшення витрат. Актуальність дослідження обумовлена стрімким розвитком ринку пристроїв екзоскелетів та наявною необхідністю в них користувачів.

Викладення основного матеріалу

З метою вибору екзоскелетів необхідно обрати критерій їх порівняння, або критерій ефективності того чи іншого пристрою, за яким відбудеться порівняння [6]. Для цього розглянемо параметри сучасних екзоскелетів. Вони характеризуються такими основними параметрами:

- особливості конструкції;
- вага пристрою, кг;
- вага, що піднімається, кг;
- швидкість руху, км/год;
- живлення;
- час безперервної дії;
- особливості руху;
- управління;
- умови експлуатації;
- вартість.

У табл.1 зведені узагальнені характеристики найбільш відомих і технологічно доведених до рівня зразків екзоскелетів.

Таблиця 1. Параметри екзоскелетів

Параметри екзоскелета	Тип екзоскелета					
	Power Loader	XOS-2	HULC	HAL-5 Type-B	Honda	ReWalk
особливості конструкції	механізований комплекс		“сильні ноги і крепке тіло”	робот, що надівається, висота 1,6м	надівається на пояс, вниз відходять жорсткі скоби, кріпляться на стегна	моторизовані «ноги» з сенсорами руху
вага пристрою, кг	200	90	25	повний комплект - 23, неповний - 15	2,8 з батареєю	3,1
вага, що Піднімається, кг	100 (40)	17:1	150	80	-	-
швидкість руху, км/год	-	кроком	16	кроком	кроком до 4,5 км/год	кроком
живлення	-	відсутність портативного джерела	Li - акумулятор масою 25 кг або паливні	акумуляторний привід, акумулятор	Li-Ion батарея	комп'ютер, що управляє, і батарея у

		живлення	елементи	(AC100V)		рюкзаку
час Безперер- вної дії	-	-	4 год. або 72 год. з паливними елементами	2 год. 40 хв.	2 год.	3,5 год.
особливості руху	ходить, повертається	-	присідати, лягати, пересуватися по пересіченій місцевості	повсякденна діяльність, тримати і піднімати важкі предмети	полегшує ходьбу	інструмент поступової реабілітації
управління	-	сенсори реєструють м'язові скорочення і передають сигнали на мотори	-	система комбінованого контролю	аналіз механіки кроку, створення зусилля, що полегшує рух	-
умови Експлуата- ції	рятувальні операції, розбори завалів	у приміщенні та на відкритому повітрі	в умовах ведення бойових дій	у приміщенні та на відкритому повітрі	у приміщенні та на відкритому повітрі	у приміщенні та на відкритому повітрі
вартість	\$5 - \$7 тис.	>> \$50 тис.	>> \$50 тис.	\$4,2 тис.	\$10 тис.	\$20 тис.

Час заряду батареї кожного із розглянутих пристроїв виробниками не вказується або вказується з великими розбіжностями у різних джерелах. Однією з головних проблем в розробці екзоскелетів є створення відповідних компактних і містких паливних елементів (електричних, бензинових, реактивних або інших). Але роботи над цим ведуться і сподіваємося на успішні комплексні рішення багатьох проблем технології екзоскелетів.

При обиранні критерія ефективності необхідно враховувати те, що критерій ефективності не можна одержати засобами математики. Одержання критерію є суто **евристичною процедурою**, яка виконується із урахуванням призначення та умов функціонування об'єкта оцінювання у цілому. На практиці поліпшення одного параметра нерідко супроводжується погіршенням принаймні одного іншого параметра, що вказує на необхідність використання комплексних критеріїв ефективності, що пов'язують у необхідних пропорціях найбільш важливі часткові показники [6].

Найпоширеніший узагальнений критерій ефективності технічного пристрою має вигляд [6]:

$$Q = \frac{(\text{ефект})}{(\text{витрати})} \quad (1)$$

Крім того, недолік ефекту можна компенсувати зменшенням витрат [1].

Екзоскелет становить із себе складний та наукоємний пристрій, в якому використовуються найсучасніші розробки і технології. У зв'язку із вищенаведеним за критерій ефективності є сенс обрати критерій:

$$Q = \frac{R}{C}, \quad (2)$$

де R - продуктивність пристрою;
 C - витрати на реалізацію пристрою.

Продуктивність можна розглядати, як кількість звільнених працівників або як заощадження коштів від економії на додаткових працівниках чи допоміжний персонал, як заощадження від економії коштів, що могли б піти на лікування або відновлення персоналу тощо.

Пропонується у якості показника продуктивності використовувати добуток деяких безрозмірних вагових коефіцієнтів $K_i \leq 1$:

$$R = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_i \cdot \dots \cdot K_{N-1} \cdot K_N \quad (3)$$

Проведений аналіз (табл.1) дозволяє виділити ряд показників або коефіцієнтів, які характеризують особливості кожного екзоскелету.

Коефіцієнт ваги. Співвідношення корисної ваги - M_k , яку можливо перемістити за допомогою екзоскелета до ваги самого екзоскелета - M_e (або середньої ваги людини з вагою екзоскелета):

$$K_M = M_k / M_e . \quad (4)$$

Коефіцієнт живлення. Співвідношення часу автономної роботи - T_a до часу заряду елементів живлення - T_p :

$$K_P = T_a / T_p . \quad (5)$$

Коефіцієнт відстані. Співвідношення приросту відстані, що можна здолати із екзоскелетом - L_e до відстані, яку людина долає без пристрою - L_h :

$$K_L = L_e / L_h . \quad (6)$$

Коефіцієнт швидкості. Співвідношення приросту швидкості - V_e , яку можливо розвинути за допомогою екзоскелета до середньої швидкості у тих самих умовах без екзоскелета - V_h :

$$K_V = V_e / V_h . \quad (7)$$

Коефіцієнт, що враховує особливості конструкції - K_C , враховує суб'єктивні оцінки експертів з точки зору зручності чи дизайну виробу.

Коефіцієнт, що враховує особливості експлуатації - K_U , враховує можливість використання виробу у різноманітних середовищах.

Коефіцієнт сервісного обслуговування - K_S , враховує можливість та зручність сервісного обслуговування і супровіду виробу.

Висновки

Обрано коефіцієнт ефективності екзоскелета, який припустимо використати в майбутніх дослідженнях. Збільшити ефективність використання екзоскелету можливо зменшенням знаменника чи збільшенням чисельника у (2). Це можливо за рахунок надання виробу у аренду або зменшенням його загальної вартості та наближенням вагових коефіцієнтів K_i до 1.

Література.

1. Вентцель Е.С. Исследование операций/ Е.С.Вентцель - М.: Сов.радио, 1972.- 552 с.
2. Верейкин А.А. К вопросу применения экзоскелетов в промышленной и строительной сфере - история разработок, виды, классификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.str-t.ru/reports/18/> (дата звернення 18.06.2018). – Назва з екрана.
3. Денисюк В.А. Анализ современного рынка экзоскелетов / Денисюк В.А., Денисюк А.В.// Інноваційний розвиток: економіка, управління, інформаційні технології, право, освіта. Матеріали II міжнародної науково-методичної конференції (Вінницький національний аграрний університет, м.Вінниця, 24-26 квітня 2014 р.). Вінниця, ВНАУ, 2013.- С. 10-14.
4. Экзоскелет (біоніка) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82_\(%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82_(%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0)) (дата звернення 18.06.2018). – Назва з екрана.
5. Каталог экзоскелетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-ekzoskeletov> (дата звернення 18.06.2018). – Назва з екрана.
6. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем контроля и управления/ И.В.Кузьмин И.В.- М.: Сов.радио, 1971.- 296 с.
7. Экзоскелеты: настоящее и будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/28_NII_2012/Biologia/11_117495.doc.htm (дата звернення 18.06.2018). – Назва з екрана.

8. Introduction to the Commercial Exoskeletons Catalog [Electronic resource]. - Mode of access: <https://exoskeletonreport.com/2016/12/introduction-to-the-commercial-exoskeletons-catalog/> (Accessed 18 June 2018). – Title from the screen.

9. US military eyes futuristic 'bionic arm' for troops [Electronic resource]. - Mode of access: <http://209.157.64.201/focus/f-news/3643981/posts> (Accessed 18 June 2018). – Title from the screen.

References.

1. Ventcel', E.S.(1972), *Issledovanie operacij* [Operations research], Sov.radio, Moscow, USSR.
2. Verejkin A.A.(2018), "To the question of exoskeletons application in an industrial and building sphere is history of developments, kinds, classification", [Online], available at: <http://www.str-t.ru/reports/18/> (Accessed 18 June 2018).
3. Denysiuk V.O. and Denysiuk A.V. (2014), "Modern Market of Exoskeleton Analysis", *Materialy II mizhnarodnoi naukovo-metodychnoi konferentsii* [Materials of international research and method conference], *Innovatsijnyj rozvytok: ekonomika, upravlinnia, informatsijni tekhnolohii, pravo, osvita* [Innovative development: economy, management, information technologies, right, education], Vinnytsya national agrarian university, Vinnytsya, Ukraine, 24-26 April, pp. 10-14.
4. "Exoskeleton (bionics)", Vikipedija, [Online], available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82_\(%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82_(%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0)) (Accessed 18 June 2018).
5. RoboTrends (2018), Katalog jekzoskeletov, [Online], available at: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-ekzoskeletov> (Accessed 18 June 2018).
6. Kuz'min, I.V. (1971), *Ocenka jeffektivnosti i optimizacija avtomaticheskikh sistem kontrolja i upravlenija* [Estimation of efficiency and optimization of the automatic checking and management systems], Sov.radio, Moscow, USSR.
7. Jekzoskelety: nastojashhee i budushhee, [Online], available at: http://www.rusnauka.com/28_NII_2012/Biologia/11_117495.doc.htm (Accessed 18 June 2018).
8. "Introduction to the Commercial Exoskeletons Catalog", [Online], available at: <https://exoskeletonreport.com/2016/12/introduction-to-the-commercial-exoskeletons-catalog/> (Accessed 18 June 2018).
9. "US military eyes futuristic 'bionic arm' for troops", [Online], available at: <http://209.157.64.201/focus/f-news/3643981/posts> (Accessed 18 June 2018).

Стаття надійшла до редакції 18.06.2018 р.