

Б.Г. ШАХАЗИЗЯН, Н.Г. АКОПЯН, М.Г. АРУТЮНЯН
РАЗРАБОТКА АКТУАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЭКЗОСКЕЛЕТОННЫХ СИСТЕМ И ИХ АКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ

Представлены предложенные авторами новые конструкции устройств реабилитации функций суставов и мышц человека, которые удостоены авторских свидетельств РА на изобретение. Описаны конструкции и принцип их действия, а также преимущества, которыми они наделены благодаря применению современных электроактивных полимерметаллических актуаторов и усовершенствованию конструкции.

Ключевые слова: экзоскелетонная система, активный модуль, полимерметаллический актуатор.

B.H. SHAHAZIZYAN, N.H. HAKOBYAN, M.G. HARUTYUNYAN
DESIGN OF ACTUAL STRUCTURES FOR EXOSKELETON SYSTEMS
AND THEIR ACTIVE MODULES

New structures of devices for the rehabilitation of human joint and muscle functions which have been awarded the RA copyright are introduced by the authors. The structure, and principle of their operation are described, as well as the advantages they possess due to the use of modern electroactive polymermetallic actuators and the design improvement.

Keywords: exoskeleton system, active module, polymermetallic activator.

ՀՏԴ 62-236.58:606:61

Ն.Հ. ՀԱԿՈՔՅԱՆ

ՍՏԱՏԻԿՈՐԵՆ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՎԱԾ ԷԿՉՈՍԿԵԼԵՏՈՆԻ ՈՒԺԱՅԻՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Կատարված է ստատիկորեն հավասարակշռված հարթ եռոդակ էկզոսկելետոնի ուժային վերլուծություն: Որոշված են էկզոսկելետոնի առավելագույն բեռնավորված վիճակը և հակազդումները կինեմատիկական զույգերում՝ կախված ընդհանրացված կորորդինատներից:

Առանցքային բառեր. ստատիկ հավասարակշռում, էկզոսկելետոն, ուժային վերլուծություն:

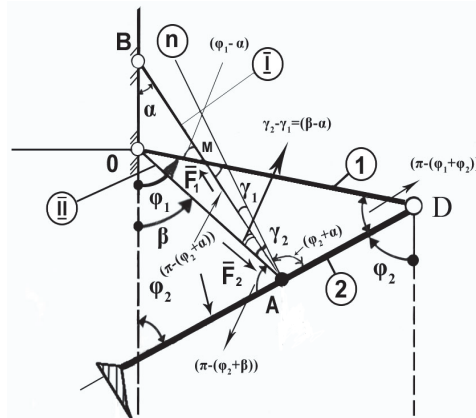
Ներածություն: Էկզոսկելետոնները նախատեսված են մարդու ֆիզիկական ուժի և դիմացկունության մեծացման, ինչպես նաև նրա մարզման և/կամ կորսված ֆունկցիաների վերականգնման համար: Դրանք կարող են նաև օգնել

մարդուն ժամանակակից արտադրության բազմաթիվ տեղամասերում (նկ. 1)՝ մարդու համար վտանգավոր պայմաններում: Էկզոսկելետոնի կիրառումը վերականգնողական գործընթացում ունի մի շարք առավելություններ՝ ինքնուրույն կանգնելու հնարավորություն, ինքնուրույն և ամբողջությամբ անվտանգ տեղափոխում սեփական մկանների ուժով, ինչը հնարավոր է դարձնում մարդու կողմից ինքնասպասարկումը, մասնագիտական սպորտով զբաղվելու համար պատրաստողական մարզումը, օրգանիզմի նախապատրաստումը մյուս օրթեզների կիրառման դեպքում [1 - 5]:



Նկ. 1. Ուրբերի էկզոսկելետոնի օրինակ

Էկզոսկելետոնը հավասարակշռող զսպանակների ճիգերի կախումը ընդհանրացված կոորդինատներից: Դիտարկենք հարթ եռօղակ էկզոսկելետոնի (նկ. 2) ուժային վերլուծությունը: Որոշենք էկզոսկելետոնի 2-րդ օղակի A կետում օղակի առանցքին ուղղահայաց ուղղված զսպանակներից առավելագույն ազդող ուժը՝ որպես ֆունկցիա φ_1 և φ_2 ընդհանրացված կոորդինատներից: Նկ. 2-ում նշված են երկրաչափական պարամետրերը, որոնցից հաստատուն են՝ $l_{OD} = const$, $l_{AD} = const$, $l_{OB} = const$, իսկ ժամանակից կախված են հետևյալները՝ $\varphi_1 = \varphi_1(t)$, $\varphi_2 = \varphi_2(t)$, $\alpha = \alpha(\varphi_1, \varphi_2)$, $l_{OA} = l_{OA}(\varphi_1, \varphi_2)$, $\beta = \beta(\varphi_1, \varphi_2)$, $l_{AB} = l_{AB}(\varphi_1, \varphi_2)$, որտեղ α -ն ու β -ն զսպանակների ուղղաձիգի հետ կազմած անկյուններն են:



Նկ. 2. Ուղղի էկզոսկելերոնի սխեման

Չապանակների գումարային ազդեցության նորմալի ուղղությամբ բաղադրիչը որոշվում է հետևյալ բանաձևից՝

$$F^n = F_1^n - F_2^n = F_1 \cos \gamma_1 - F_2 \cos \gamma_2,$$

որտեղ F_1^n և F_2^n -ը առաջին և երկրորդ զապանակների նորմալի ուղղությամբ ուժերն են, γ_1 և γ_2 -ը՝ առաջին և երկրորդ զապանակների՝ նորմալի հետ կազմած անկյունը (նկ.2):

$$F_1^n = F_1 \cos(\alpha + \varphi_2 - \pi / 2), \quad F_2^n = F_2 \cos(\beta + \varphi_2 - \pi / 2),$$

որտեղ $\gamma_1 = \alpha + \varphi_2 - \pi / 2$ և $\gamma_2 = \beta + \varphi_2 - \pi / 2$:

Կատարենք **զապանակների ընթացիկ երկարությունների որոշումը**, որի համար գրենք հետևյալ առնչությունները.

$$\frac{l_{OM}}{\sin \alpha} = \frac{l_{OB}}{\sin(\varphi_1 - \alpha)}, \quad \frac{l_{DM}}{\sin(\varphi_2 + \alpha)} = \frac{l_{AD}}{\sin(\varphi_1 - \alpha)},$$

$$l_{OD} = \frac{1}{\sin(\varphi_1 - \alpha)} (l_{OB} \sin \alpha + l_{AD} \sin(\varphi_2 + \alpha)),$$

$$\sin(\varphi_1 - \alpha) = \frac{l_{OB}}{l_{OD}} \sin \alpha + \frac{l_{AD}}{l_{OD}} \sin(\varphi_2 + \alpha), \quad \sin(\varphi_1 - \beta) = \frac{l_{AD}}{l_{OD}} \sin(\varphi_2 + \beta),$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l_{OD} \sin \varphi_1 - l_{AD} \sin \varphi_2}{l_{OD} \cos \varphi_1 + l_{AD} \cos \varphi_2 + l_{OB}}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{l_{OD} \sin \varphi_1 - l_{AD} \sin \varphi_2}{l_{OD} \cos \varphi_1 + l_{AD} \cos \varphi_2} :$$

Չապանակների ընթացիկ երկարությունները՝

ա) առաջին զսպանակ (ձգման) $l_{z1} = l_{OD} \frac{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin \beta}{\sin(\beta + \varphi_2) \sin \alpha}$,

բ) երկրորդ զսպանակ (սեղման) $l_{z2} = l_{OD} \frac{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}{\sin(\beta + \varphi_2)}$:

Չապանակների ճիգերը՝

ա) $F_{z1} = k_1 \Delta l_{z1} + F_{z10} \equiv F_1$, որտեղ՝ $\Delta l_{z1} = l_{z1} - l_{z10}$,

բ) $F_{z2} = k_2 \Delta l_{z2} + F_{z20} \equiv F_2$, որտեղ՝ $\Delta l_{z2} = l_{z2} - l_{z20}$:

Էկզոսկելետոնի դիրքից կախված առավելագույն բեռնվածքի որոշումը:

Դիտարկենք 2-րդ օղակի վրա A կետում ազդող ուժը՝ $F = F_1 - F_2$: Ընդ որում՝ $\bar{F}_i = \bar{F}_i^n - \bar{F}_i^t$, որտեղ \bar{F}_i^n և \bar{F}_i^t ՝ \bar{F} ուժի բաղադրիչներն են օղակի նորմալի և շոշափողի ուղղությամբ: A կետում ազդող \bar{F} ուժի \bar{F}_i^t շոշափող բաղադրիչներն առաջացնում են 2-րդ օղակի AD հատվածի ձգում-սեղմում, իսկ \bar{F}^n բաղադրիչը՝ ծռում և ոլորում: Այն հավասար է՝

$$F^n = F_1^n - F_2^n = F_1 \cos \gamma_1 - F_2 \cos \gamma_2 : \quad (1)$$

Դրանք հետևյալ արտահայտություններով են կապված համակարգի ընդհանրացված կորդինատների հետ՝

$$\gamma_1 = \alpha + \varphi_2 - \pi / 2, \quad \gamma_2 = \beta + \varphi_2 - \pi / 2 :$$

Արտահայտելով γ_i անկյունները φ_i անկյուններով, կունենանք.

$$\begin{cases} \gamma_1 = \arctg\left(\frac{l_{OD} \sin \varphi_1 - l_{AD} \sin \varphi_2}{l_{OD} \cos \varphi_1 + l_{AD} \cos \varphi_2 + l_{OB}}\right) + \varphi_2 - \pi / 2, \\ \gamma_2 = \arctg\left(\frac{l_{OD} \sin \varphi_1 - l_{AD} \sin \varphi_2}{l_{OD} \cos \varphi_1 + l_{AD} \cos \varphi_2}\right) + \varphi_2 - \pi / 2 : \end{cases} \quad (2)$$

Տեղադրելով (2)-ը (1)-ում՝ կստանանք էկզոսկելետոնի 2-րդ օղակի A կետում ազդող \bar{F} ուժի F^n նորմալ բաղադրիչի կախումը φ_1 և φ_2 ընդհանրացված կորդինատներից՝ $F^n = f(\varphi_1, \varphi_2)$, որի առավելագույն արժեքը կորոշվի ֆունկցիան էքստրեմումի բերող հավասարումներից՝

$$\frac{\partial F^n}{\partial \varphi_2} = 0, \quad \frac{\partial F^n}{\partial \varphi_1} = 0:$$

Այս հավասարումներից որոշվում են φ_{10} և φ_{20} կոորդինատների արժեքները, իսկ (1)-ից՝ $F^n(\varphi_{10}, \varphi_{20})$ ուժի առավելագույն արժեքը: Նախապես անհրաժեշտ է ստուգել ֆունկցիայի մաքսիմումի կամ մինիմումի գոյության բավարար պայմանները.

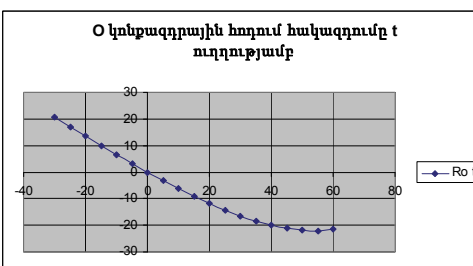
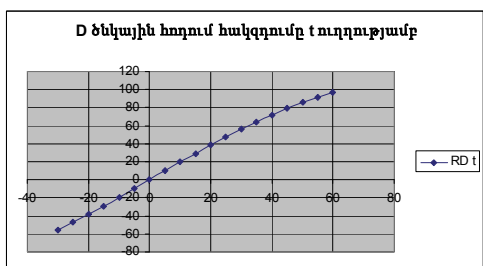
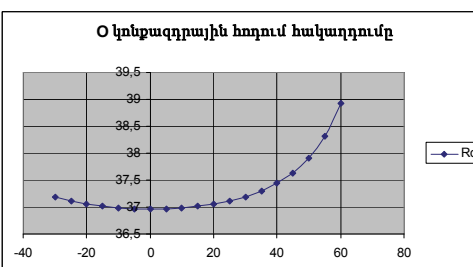
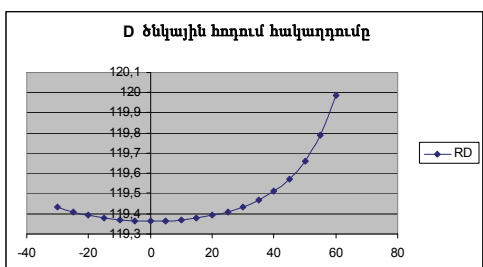
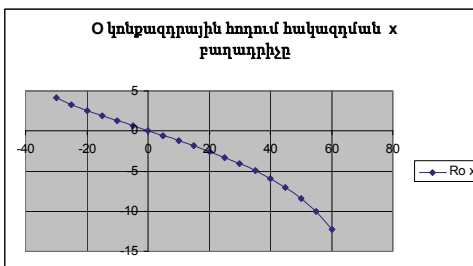
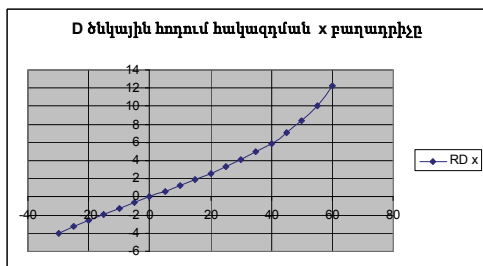
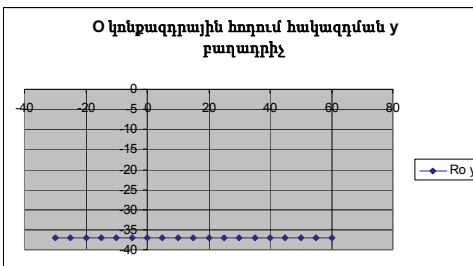
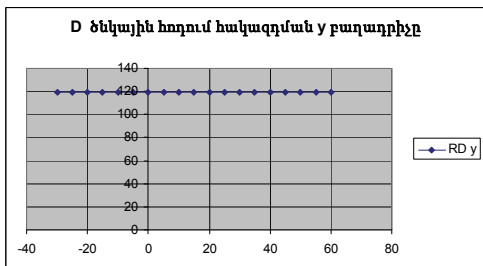
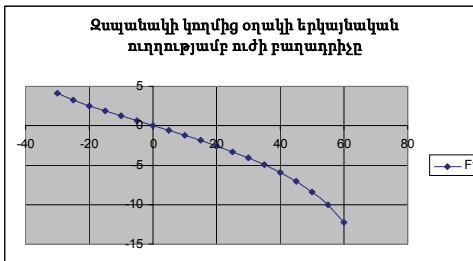
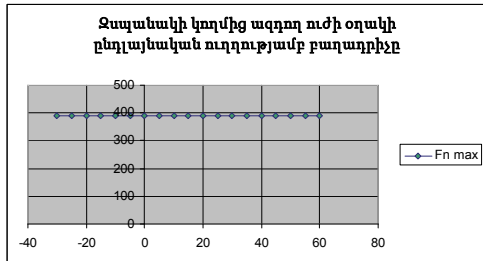
$$\left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_1 \partial \varphi_2}\right)_0^2 - \left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_1^2}\right)_0 \left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_2^2}\right)_0 < 0, \quad \left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_1^2}\right)_0 < 0, \text{ մաքսիմումի դեպքը,}$$

$$\left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_1 \partial \varphi_2}\right)_0^2 - \left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_1^2}\right)_0 \left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_2^2}\right)_0 < 0, \quad \left(\frac{\partial^2 F^n}{\partial \varphi_1^2}\right)_0 > 0, \text{ մինիմումի դեպքը:}$$

Այստեղ '0' ինդեքսը նշանակում է, որ ածանցյալների արժեքները հաշված են φ_{10} և φ_{20} :

Էկզոսկելետոնի թվային վերլուծություն: Հաշվարկներ կատարելու համար ընդունվել են հետևյալ տվյալները. մարդու զանգվածը՝ $M=60$ (կգ), հասակը՝ $L=1,65$ (մ), մարդու ոտքի սեգմենտների զանգվածները. ազդրի՝ $m_1 = 0,14 \cdot M = 8,4$ (կգ), սրունքի՝ $m_2 = 0,043 M = 2,58$ (կգ), ոտնաթաթի՝ $m_3 = 0,013 M = 0,78$ (կգ), զպանակների զանգվածները՝ $m_{z1} = 0,844$ (կգ), $m_{z2} = 0,9583$ (կգ), ծանրության ուժերը. ազդրի՝ $G_1 = 82,32$ (Ն), սրունքի՝ $G_2 = 25,28$ (Ն), ոտնաթաթի՝ $G_3 = m_3 g = 7,644$ (Ն), ՕԱ զսպանակի՝ $G = 0,5 \cdot (m_{z1} + m_{z2}) \cdot g = 8,83$ (Ն), օղակների երկարությունները՝ $l_1 = l_2 = 0,34$ (մ), $l_{DC_2} = l_{CC_2} = l_{OC_1} = l_{C_1D} = l_1 / 2 = 0,17$ (մ), ընդհանրացված կոորդինատները՝ $\varphi_1 = \pi / 2$, $\varphi_2 \in [-\pi / 6, \pi / 3]$:

Էկզոսկելետոնի ուժային վերլուծության արդյունքները



Եզրակացություններ: Բժշկական նշանակության էկզոսկելետոնների նախագծման նպատակով կարևորվում են ստատիկ և դինամիկ ռեժիմներում աշխատող էկզոսկելետոնների ուժային վերլուծությունը, պարամետրերի լավարկումը, զսպանակների և շարժիչների հարմարդասումը, զանգվածների նվազարկումը, օղակների ծռման և ոլորման հաշվարկները:

Կատարվել է հավասարակշռված էկզոսկելետոնի ուժային վերլուծություն՝ կախված ընդհանրացված կոորդինատներից, որոշվել են հակազդումները կինեմատիկական զույգերում՝ զսպանակի միջոցով զարգացած առավելագույն ուժի դեպքում: Ընդհանրացված կոորդինատի տրված տիրույթում որոշվել են նաև առավելագույն հակազդումները կինեմատիկական զույգերում, որոնք հետագայում օգտագործվել են էկզոսկելետոնի օղակների կոշտության հաշվարկը կատարելու համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Шахиняц М.** Курс робототехники: Пер. с англ.–М.: Мир,1990.- 527 с.
2. gizmo.com.au
3. e-conet.com
4. **Arakelian V., Ghazaryan S.** Gravity balancing of the human leg taking into account the spring mass // Proceedings of the 9th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR).- Brussels, Belgium, 12-14 September, 2006. - P. 630-635.
5. **Ghazaryan S.** Gravity balancing and optimization of the parameters of the biomechanical system of a human leg and the rehabilitation device // Proceedings of Engineering Academy of Armenia (PEAA).- Yerevan, Armenia, 2008.-V.5, No.1.- P. 119-122.

Н.Г. АКОПЯН

СИЛОВОЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИ УРАВНОВЕШЕННОГО ЭКЗОСКЕЛЕТОНА

Выполнен силовой анализ статически уравновешенного плоского трехзвенного экзоскелетона. Определены максимально нагруженное состояние экзоскелетона и реакции в кинематических парах в функции от его обобщённых координат.

Ключевые слова: статическое уравновешивание, экзоскелетон, силовой анализ.

N.H. AKOPYAN

FORCE ANALYSIS OF A STATICALLY BALANCED EXOSKELETON

The force analysis of a statically balanced plane three-link exoskeleton is performed. The maximum loaded state of the exoskeleton, and the reactions in the kinematic pairs in the function from its generalized coordinates are determined.

Keywords: static balancing, exoskeleton, force analysis.

ՀՏԴ 676.2.017.26

Ա.Ա. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Ս.Վ. ՎԵՐԼԻՆՍԿԻ

ՏՊԱԳԼԱՆՆԵՐԻ ՀՊՄԱՆ ԳՈՏՈՒՄ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐՐԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Դիտարկվել են տպագրական գլանների առաձգական և կոշտ աշխատանքային մակերևութային շերտերում առաջացած լարվածադեֆորմացիոն վիճակը, հպման դեպքում դեֆորմացումների և հարաբերական տեղաշարժերի ստատիկան՝ կոշտության հաշվառմամբ, որոնց ընդհանրացված արդյունքով հնարավոր է ապահովել տպագրման որակը: Տպագլանների հպման գոտին մոդելավորված և հետազոտված է ANSYS համակարգչային ծրագրով, որը գործում է վերջավոր տարրերի մեթոդով:

Առանցքային բառեր. օֆսեթ գլան, լարվածադեֆորմացիոն վիճակ, հարաբերական տեղաշարժ, ANSYS ծրագիր, վերջավոր տարրերի մեթոդ:

Ներածություն: Պոլիգրաֆիական սարքավորումների տպագլանների հպման գոտում իրականացված հետազոտություններում լիովին բացահայտված չեն ժամանակակից թերթային օֆսեթ տպագրական մեքենայի տպող համակարգի աշխատանքի առանձնահատկությունները: Վերջին տասնամյակում տպագրության արտադրողականության կտրուկ մեծացմանը զուգընթաց՝ անհրաժեշտություն է առաջանում կատարել հավելյալ տեսական և փորձարարական հետազոտություններ՝ տպվածքի որակի վրա տպագլանների շրջանային տեղաշարժի ազդեցությունը գնահատելու համար [1]:

Այդ նկատառումներից ելնելով՝ նպատակահարմար է գլանների հպման գոտիներում կատարել առաձգական շերտերի հարաբերական տեղաշարժերի գնահատում և որոշել աշխատանքային մակերևութային լարվածադեֆորմացիոն վիճակի ազդեցությունը տպագրման որակի վրա:

Սարքավորումների տպագլանների հպման գոտում առաջացող լարվածադեֆորմացիոն վիճակի պարամետրերը կախված են բեռնվածության բնույթից,