

N.H. HAKOBYAN, A.N. BAGHDASARYAN

**DEVELOPING THE EXOSKELETON ACTIVE MODULE BY USING  
PIEZOELECTRIC WAVE VIBROMOTOR**

The active moduls of rehabilitative system, consisting of a combination system and mechanical system is modeled. The piezoelectric tile is modeled, and its stress-strain state is investigated by the ANSYS software package. New lever-assisted finger-restoring device and its kinematic and dynamic characteristics are introduced. A new concept of an active module by connecting it to a vibroactuator executive ring recovery device is proposed.

**Keywords:** actuator, piezoplate, wave vibromotor, exoskeleton module, stress-strain state.

ՀՏԴ 62-236.58:606:61

**Բ.Հ. ՇԱՀԱԶԻԶՅԱՆ, Ա.Դ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ**

**ԲԱՐԵԼԱՎՎԱԾ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐՈՎ ՌՈՐՈՏԱՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ  
ԱՍԻՍՏԻՎ ՍԱՐՔԻ ՆՈՐ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Կատարվել է հեղինակների կողմից առաջարկված մարդու քայլելու ու նստել-ելնելու ընթացքում նրա ֆիզիկական հնարավորություններին օժանդակող սարքերի համեմատական վերլուծություն, դրանց բնութագրերի հետազա բարելավում, մշակվել է սարքի կոնստրուկցիայի նոր տարբերակ:

**Առանցքային բառեր.** ասիստիվ ոռոտատեխնիկական սարք, էկզոսկելետոն, գսպանակ, տեխնիկական բնութագրեր:

**Ներածություն:** Հեղինակների կողմից իրականացված հետազոտական աշխատանքների արդյունքում առաջարկվել են մարդու քայլելու, նստել-ելնելու, ինչպես նաև քայլելու-նստել-ելնելու գործառույթներին օժանդակող ասիստիվ սարքեր՝ էկզոսկելետոններ և օրթեզներ [1-8]: Այս ասիստիվ սարքերի նախագծման ընթացքում շեշտադրվել է կենսամեխանիկական համակարգի ստատիկ հավասարակշռման իրականացման ուժային եղանակը [1-9]: Այստեղ համակարգի յուրաքանչյուր ազատության աստիճանի հավասարակշռման համար օգտագործվել են մեկ զույգ ուժային տարրեր [1]: Հետագայում տարբեր գործառույթներ իրականացնող հավասարակշռող երկու առաձգական տարրերը փոխարինվել են մեկ տարրով և պտտական կարգավորիչով [2, 3]: Հաջորդ բարելավումներն ուղղված են եղել առավել նպատահարմար կարգավորիչի նախագծմանը [3, 4] և կոնստրուկտիվ եղանակներով պահանջվող դիրքավորման ապահովմանը [5, 6]: Սակայն սարքերը քայլելու ռեժիմից նստել-ելնելու ռեժիմին ու հակառակն անցնելիս դեռևս պահանջում էին պտտական կարգավորիչ մեխանիզմների վերալա-

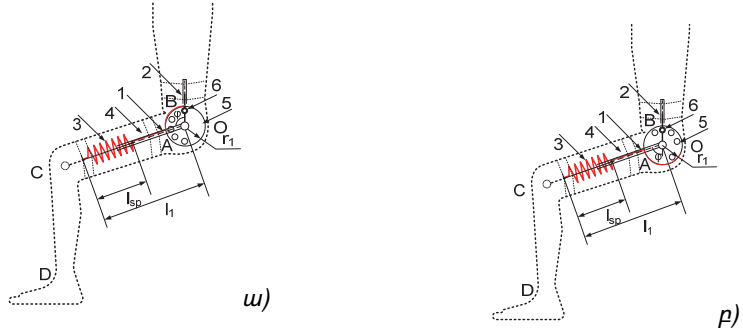
րումներ՝ բավականին զգալի ուժերի կիրառմամբ: Ուստի առաջարկվել է կատարելագործված տեխնիկական լուծում՝ սողնակային կարգավորիչով [7]: Իսկ վերջին լուծումների համատեղ կիրառումը հնարավորություն տվեց ընդլայնել զարգացման ուղիները և ոլորտները, առաջարկել պասսիվ տարրերով սարքեր մարդու շարժական հնարավորությունների ոչ միայն օժանդակման, այլ նաև հզորացման համար, մասնավորապես, առաջարկվել են արդյունաբերական և ռազմական նշանակության էկզոսկելետոններ [8]:

Ներկայացվող հետազոտության նպատակն է առաջարկել բարելավված տեխնիկական բնութագրերով ռոբոտատեխնիկական ասիստիվ սարքի նոր կառուցվածք: Շեշտադրվող բնութագրերից են կոնստրուկցիայի դյուրակրությունը, աշխատանքային ռեժիմների փոխանցման հարմարավետությունը: Աշխատանքում իրականացված խնդիրներն են.

1. Ասիստիվ սարքերի աշխատանքային բնութագրերի նկարագրություն, և դրանց համեմատական վերլուծություն՝ օպտիմալ կառուցվածք ընտրելու նպատակով:

2. Առաջարկված նոր ասիստիվ սարքի նախագծում՝ ելնելով օղակների կոշտության պայմանից, դրա կոնստրուկցիայի մշակում՝ փորձանմուշ պատրաստելու նպատակով:

**1.1. Սկավառակավոր ասիստիվ սարքի աշխատանքը և տեխնիկական բնութագրերը:** Սարքն իրականացնում է մարդու մարմնի սեգմենտների ստատիկ հավասարակշռում նրա քայլելու և նստել-ելնելու ընթացքում: Սարքի կառուցվածքային սխեման ներկայացված է նկ. 1-ում [3]. այն պտտական կինեմատիկական զույգերով, երկօղակ (1, 2) հարթ մանիպուլյացիոն մեխանիզմ է՝ միացված կրողի մարմնի յուրաքանչյուր կողմին: Հավասարակշռումն իրականացվում է սագիտալ հարթությունում, ինչի համար ազդրային (1) օղակների երկայնքով տեղադրվում են մեկական հավասարակշռող գլանական զսպանակներ (3), որոնք մետաղական ճոպանների (4) միջոցով ուղղորդվում են (5) սկավառակներին: Սկավառակներն ունեն դիրքավորման անցքեր՝ սևեռիչների (6) միջոցով կոնքային օղակներին միանալու և անջատվելու համար: Սկավառակը պտտելով կարելի է փոփոխել առաձգական տարրի դերը, որի շնորհիվ համակարգն աշխատում է որպես օգնական մարդու կամ քայլելուն, կամ՝ նստել-ելնելուն:



Նկ. 1. Սկավառակավոր ասիստիվ սարքի կառուցվածքային սխեման՝ ա - մարդու քայլելու և բ - նստել-ելնելու ռեժիմներում. 1, 2 - փելեկոպիկ օղակներ, 3 - զսպանակ, 4 - ճոպան, 5 - կարգավորող մեխանիզմ, 6 - սևեռիչ

Քայլքի ռեժիմում գրավիտացիոն մոմենտը որոշվում է՝

$$M_{gw} = (0,5m_1 + m_{CD})l_1g \sin \varphi, \quad (1)$$

որտեղ  $m_1$ -ը ազդրի և օրթեզի զանգվածն է,  $m_{CD}$ -ն՝ սրունքի և ոտնաթաթի զանգվածը,  $l_1$ -ը՝ ազդրային օղակի երկարությունը,  $g$ -ն՝ գրավիտացիոն հաստատունը,  $\varphi$ -ն՝ ազդրային օղակի դիրքի անկյունը:

Նստելու-ելնելու ռեժիմում գրավիտացիոն մոմենտը որոշվում է՝

$$M_{gs} = (0,5m_H - m_{CD} - 0,5m_1)l_1g \sin \varphi, \quad (2)$$

որտեղ  $m_H$ -ը մարդու զանգվածն է: Հարկ է նշել, որ զսպանակի կշիռն անտեսվում է հավասարումներում: Հայտնի է [3, 10], որ՝  $M_{gs} = 3M_{gw}$ :

Քայլքի ռեժիմում հավասարակշռող մոմենտը որոշվում է՝

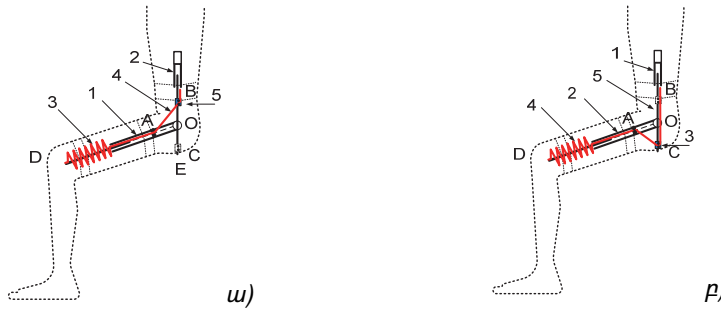
$$M_{bw} = F_{sw}r_1 = (F_{0w} + k\Delta l_{sw})r_1 = (\varphi_{0w} + \varphi)k\pi r_1^2/180, \quad (3)$$

որտեղ՝  $r_1$ -ը սկավառակի շառավիղն է,  $k$ -ն՝ զսպանակի կոշտությունը,  $\Delta l_{sw}$ -ը՝ աշխատանքային երկարացումը,  $F_{sw}$ -ը՝ զարգացվող ուժը, իսկ  $F_{0w}$ -ը՝ նախնական ձգվածության ուժը՝ ճոպանի  $\varphi_{0w}$  անկյամբ սկավառակի վրա փաթաթվելու դեպքում: Այստեղ՝  $F_{0w} = \varphi_{0w}k\pi r_1/180$ , իսկ  $M_{0w} = F_{0w}r_1 = \varphi_{0w}k\pi r_1^2/180$ :

**Թվային օրինակ.** Եթե մարդու զանգվածը կազմի՝  $M = 70$  կգ, ապա՝  $m_1 = 10$  կգ,  $m_{CD} = 4,1$  կգ,  $l_1 = 0,4$  մ,  $r_1 = 0,05$  մ և ստանում ենք՝  $M_{gw} \max = 36$  Նմ, իսկ  $k_{\max} = 9170$  Ն/մ,  $F_{0w} = 480$  Ն,  $M_{0w} = 23$  Նմ:

Սկավառակավոր ասիստիվ սարքի՝ մեկ ռեժիմից մյուսին ացկացնելու համար հարկավոր է հաղթահարել 480 Ն ուժի մոմենտը՝ 23 Նմ, ինչը դժվարություն է ստեղծում կրողի համար: Այդ իսկ պատճառով առաջակվել է ասիստիվ սարքի նոր կառուցվածք՝ սողնակավոր կարգավորող մեխանիզմով:

**1.2. Սողնակավոր ասիստիվ սարքի աշխատանքը և տեխնիկական բնութագրերը:** Սարքի կառուցվածքային սխեման նախորդից տարբերվում է միայն կարգավորող մեխանիզմով (նկ. 2):



Նկ. 2. Սողնակավոր ասիստիվ սարքի կառուցվածքային սխեման՝ ա - մարդու քայլելու և բ - նստել-ելնելու ռեժիմներում. 1, 2 - տեխնիկական օղակներ, 3 - զսպանակ, 4 - ճոպան, 5 - կարգավորող մեխանիզմ

Զսպանակի շարժական ծայրին միացված մետաղական (5) ճոպանն անցնելով A կետով, բերվում է (6) սողնակային կարգավորիչին, որը ծառայում է աշխատանքային ռեժիմի փոփոխմանը. սողնակը վերին դիրքում է քայլելու ռեժիմում (նկ. 2 ա) և ստորին դիրքում է՝ նստել-ելնելու ռեժիմում (նկ. 2 բ): Կանգնած դիրքում ապահովված է սարքը կիրառողի կողմից մեկ ռեժիմից մյուսին առանց դժվարության անցկացնելու հնարավորությունը, քանզի սողնակի տեղափոխման համար ճիգ կիրառելու անհրաժեշտություն չկա: Սարքի կարգավորումն իրականացվում է՝ զսպանակի կոշտության գործակցի, ճոպանի անցման հանգույցի և նրա նախնական ձգվածության միջոցով:

Քայլքի և նստելու-ելնելու ռեժիմներում գրավիտացիոն մոմենտները որոշվում են ինչպես նախորդ դեպքում՝ (1) և (2) արտահայտություններով: Կիրառվող գլանական զսպանակ զսպանակների նախնական ձգումով դրանց բնութագրերը բերված են գրոյական ազատ երկարության զսպանակի բնութագրերի [1,9], ուստի քայլքի ռեժիմում հավասարակշռող մոմենտը որոշվում է՝

$$M_{bw} = F_{sw}h_1 \cos\beta = F_{sw}l_{AO}h_1 \sin\varphi / l_{sw} = kl_{AO}h_1 \sin\varphi. \quad (4)$$

որտեղ՝  $h_1$ -ը սողնակի վերին դիրքն է (OB),  $l_{AO}$ -ն՝ OA հատվածի երկարությունը,  $\beta$ -ն՝ OAB անկյունը: Հավասարակշռման պայմանից ստանում ենք զսպանակի բավարար կոշտության գործակցը՝

$$k = (0,5m_1 + m_{CD})l_1g/(l_{AO}h_1): \quad (5)$$

Իսկ զսպանակի ճիգերը որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$F_{sw} = \Delta F_{sw} + F_{sw0} = k(l_{sw} + l_{so}), \quad (6)$$

որտեղ  $l_{so}$ -ն BD հատվածի երկարությունն է:  $F_{sw}$ -ի առավելագույն արժեքը կլինի, երբ  $\varphi = 180^\circ$

$$F_{swmax} = k(l_{OA} + h_1 + l_{so}) \quad (7)$$

Նստել-ելնելու դեպքում զսպանակի ճիգերը կորոշվեն՝

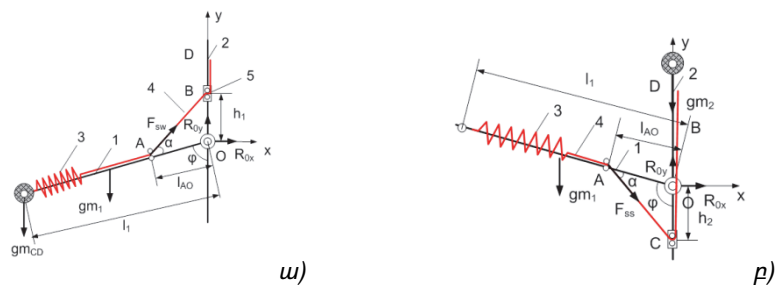
$$F_{ss} = \Delta F_{ss} + F_{ss0} = \Delta F_{ss} + F_{swmax} = k(l_{ss} + l_{OA} + h_1 + l_{so}), \quad (8)$$

որտեղ  $l_{ss}$ -ն զսպանակի երկարացումն է նստել-ելնելու ժամանակ, այն կախված է  $l_{OA}$ -ի և  $h_2$ - սողնակի ստորին դիրքի (OC) արժեքներից (նկ. 2 բ):

**Թվային օրինակ.** Հաշվարկները կատարված են նախորդ դեպքին համապատասխան արժեքներով, երբ  $h_1 = 0,1մ$ ,  $h_2 = 0,05մ$ ,  $l_{OA} = 0,06մ$ ,  $l_{so} = 0,15մ$  ստանում ենք՝  $k_{max} = 6000 Ն/մ$ ,  $F_{0w} = 900 Ն$ ,  $F_{ss90^\circ} = 3000 Ն$ ,  $F_{swmax} = F_{ss0} = 1260 Ն$ :

**2.1. Սողնակավոր ասիստիվ սարքի կոշտության հաշվարկը:** Սարքի հաշվարկային սխեմաները քայլելու և նստել-ելնելու դեպքերում ներկայացված են նկ. 3-ում: Ազդրային օղակը նստել-ելնելու ռեժիմում ենթարկվում է ծոման առավելագույն դեֆորմացիայի, կոշտության պայմանից՝  $max v(x) \leq [v]$ , որտեղ  $[v]$ -օղակի թույլատրելի ճկվածքն է, որոշվում են նրա չափերը, որի համար կիրառվել է առաձգական գծի ունիվերսալ հավասարումը (նկ. 3բ) [11]՝

$$EI_z v(x) = ((m_1((x - 0,5l_1)^3 + 1,5l_2x^2) + m_2((x - l_1)^3 + 3l_1x^2))g - F((x - l_{AO})^3 + 3l_{AO}x^2))\sin\varphi/6, \quad (9)$$

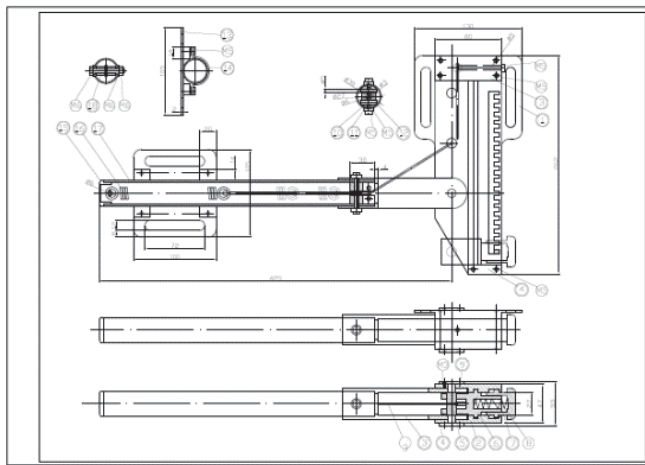


Նկ. 3. Սողնակային ասիստիվ սարքի ուժային վերլուծության սխեման. ա - մարդու քայլելու և բ - նստել-ելնելու ռեժիմներում

**Թվային օրինակ.** դիտարկված օրինակում (նկ.3) օղակը պատրաստվելու է D արտաքին և d ներքին տրամագծերով կարբոնե խողովակից, որի Յունգի

մոդուլը՝  $E = 1,4 \cdot 10^9 \text{ Ն/մ}^2$ , հատույթի իներցիայի մոմենտը՝  $I_z = \pi D^4(1 - \alpha^4)/64$ , որտեղ  $\alpha = d/D$ : Կոշտության հաշվարկի արդյունքով ստանում ենք խողովակ՝  $D = 34 \text{ մմ}$ ,  $d = 30 \text{ մմ}$ , որի առավելագույն ճկվածքը կազմում է՝  $0,000745 < 0,01 I_z$ :

**2.2. Սողնակավոր ասիստիվ սարքի փորձանմուշի կոնստրուկցիայի մշակումը:** Հաշվարկների արդյունքներով մշակվել են ասիստիվ սարքի կոնստրուկցիայի տարբերակը (նկ. 4) և դրա պատրաստման համար անհրաժեշտ աշխատանքային գծագրերի փաթեթը:



Նկ. 4. Մարդու քայլելու և նստել-ելնելու օրթեզի կոնստրուկցիան

**Եզրակացություն:** Առաջարկված է մարդու ֆիզիկական հնարավորություններին աջակցող առաձգական տարրերով վերջույթը հավասարակշռող էկզոսկելետոնի նոր սխեմա՝ մարդու քայլելուն ու նստել-ելնելուն օժանդակելու նպատակով: Իրականացվել են սողնակավոր համապիտանի ասիստիվ սարքի ուժային վերլուծություն և կոշտության հաշվարկ, պատրաստման համար անհրաժեշտ աշխատանքային գծագրերի փաթեթ, տեխնիկական բնութագրերի որոշում, մշակվել է էկզոսկելետոնի կոնստրուկցիան՝ փորձանմուշ պատրաստելու և էքսպերիմենտ իրականացնելու նպատակով:

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Казарян С.Д., Арутюнян М.Г., Аракелян В.А. Аспекты проектирования реабилитационных средств - ассистентов движения человека // Труды 1-й Международной конференции ИРМ-2018 / MES-2018 Инженерные решения в машиностроении. Проектирование, моделирование, испытание и изготовление, 17-19 сентября 2018 г.- Ереван, Армения, 2018.-С. 71-80.

2. **Казарян С.Д., Арутюнян М.Г.** Разработка портативного ортеза для ходьбы и приседания человека // Вестник НПУА: Сборник научных статей. – Ереван, 2018. – N2. – С. 435-439.
3. **Казарян С.Д., Арутюнян М.Г.** Разработка конструкций портативного ортеза для ходьбы и приседания // Вестник НПУА: Механика, машиноведение, машиностроение. – Ереван, 2017. – N2. – С. 43-52.
4. **Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G.** The Design of Multi-purpose Portable Movable Orthosis // ROMANSY 2018. 22nd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, June 25-28, 2018.- Rennes, France, 2018.- P. 296-303.
5. **Казарян С.Д., Закарян Н.Б., Арутюнян М.Г., Саргсян Ю.Л.** К проектированию многоцелевых уравновешенных устройств ассистирования опорно-двигательной системы человека // Вестник НПУА: Сборник научных статей. – Ереван, 2018. – N2. – С. 49-58.
6. ՀՀ գյուտի արտոնագիր, AM20190018. Բազմանպատակային էկզոսկելետոն/ **Ն.Ք. Զաքարյան, Ա.Դ. Ղազարյան, Մ.Գ. Հարությունյան, Յու.Լ. Սարգսյան, Ս.Ս. Շահինյան, Բ.Հ. Շահազիզյան.**- Երևան, 12.02.2019.
7. **Harutyunyan M.G., Ghazaryan S.D., Zakaryan N.B., Shahinyan S.S.** Portative exoskeleton for a human sitting and walking passive balancing // Прогрессивные технологии и системы машиностроения.- 2019.- № 2 (65).- С. 95-99.
8. **Շահազիզյան Բ.Հ., Ղազարյան Ա.Դ., Հարությունյան Մ.Գ.** Բազմական նշանակության ոռոտատեխնիկական էկզոսկելետոնային սարքերի նախագծում // ՀՀ ՊՆ Վ.Սարգսյանի անվան ռազմական համալսարանի 25 ամյակին նվիրված կուրսանտական 16-րդ գիտական կոնֆերանս.- Երևան, 2019, մայիսի 30-31:
9. **Arakelian V., Brio S.** Balancing of Linkages and Robot Manipulators.-Springer International Publishing Switzerland, 2015- Mechanism and Machine Science, Vol. 27, DOI 10.1007/978-3-319-12490-2.- 291 p.
10. **Бегун П.И., Шукейло Ю.А.** Биомеханика: Учебник для вузов. – СПб.: Политехник, 2000. – 463с.
11. **Феодосьев В.И.** Сопротивление материалов.- М.: Наука, 1979.- 560с.

**Բ.Գ. ՏԱԽԱԶԻԶՅԱՆ, Ս.Դ. ԿԱԶԱՐՅԱՆ**

### **РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО АССИСТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Выполнены сравнительный анализ предложенных авторами устройств, содействующих физическим возможностям человека при его ходьбе и приседании, последующее улучшение их характеристик. Разработана новая схема конструкции.

**Ключевые слова:** ассистирующее робототехническое устройство, экзоскелетон, пружина, технические характеристики.

**B.H. SHAHAZIZYAN, S.D. GHAZARYAN**

**DEVELOPING A NEW CONSTRUCTION OF AN ASSISTANT ROBOTIC DEVICE WITH IMPROVED TECHNICAL CHARACTERISTICS**

A comparative analysis of the devices proposed by the authors, assisting the physical abilities of a person during his walking and sitting, the subsequent improvement of their characteristics is performed. A new design of the device is developed.

**Keywords:** assisting robotic device, exoskeleton, spring, technical characteristics.

ՀՏԴ 62-52+513.1

**Ռ.Վ. ՖԱՀՐԱԴՅԱՆ**

**ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԶԱՐԴԱՐՎԵՍՏՈՒՄ ՕԳՏԱԳՈՐԾՎՈՂ ՆԱԽՇԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Կատարվել է հայկական զարդարվեստում կիրառվող որոշ նախշերի վերլուծություն: Ուսումնասիրվել է նախշերի նշանակությունը: Առաջարկվել են այդ նախշերի կիրառման նոր տարբերակներ:

**Առանցքային բառեր.** զարդարվեստ, նախշ, տարրեր:

**Ներածություն:** Զարդարվեստը հայ ժողովրդի ստեղծած արվեստի ամենահին, բայց ամենակենսունակ բնագավառներից մեկն է, որի մի ծայրը նախնադարյան հասարակության ընդերքում է, իսկ մյուսը, այսօր էլ ծաղկելով, ձգվում է դեպի ապագա:

Զարդարվեստը կերպարվեստի բնագավառ է, ծառայում է մարդուն շրջապատող միջավայրը զարդարելուն: Սկզբնավորվել և զարգացել է շատ հնուց: Պատկերվել են իրական և երևակայական ձևեր: Այդ իսկ պատճառով զարդարվեստը ոչ միայն արհեստի ճյուղ է, այլ նաև արվեստի:

**Ծաղիկները և վարսանդա-պտղային օրգանները զարդարվեստում:** [1] Զարդարվեստի բուսական մոտիվների ամենագլխավոր արտահայտությունը կենաց ծառն է: Կենաց ծառը զարդարվեստում երևան է գալիս ամենաբազմազան ձևերով, հատկանշականը, սակայն, այդ ծառերի համար խիստ ոճավորված և ընդհանրացված մոտիվներն են, ըստ որոնց՝ պատկերված են լինում բույսի ամենագլխավոր օրգանները:

Նախապես նշենք, որ զարդարվեստում «կենաց ծառ» արտահայտությունն անպայման չի նշանակում, թե գործ ունեք ծառի հետ, այլ՝ ընդհանրապես բույսի: Որպեսզի լրիվ գաղափար կազմվի կենաց ծառի մասին, անհրաժեշտ է նախ հանգամանորեն ծանոթանալ նրա օրգաններից յուրաքանչյուրին (նկ. 1):