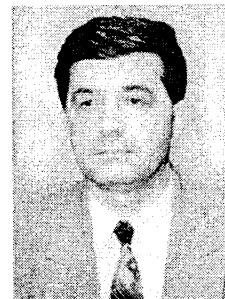


# PRILOG RAZVOJU NOVOG REŠENJA VEZE OKRETNOG I NEOKRETNOG DELA MAŠINA GRAĐEVINSKE I TRANSPORTNE MEHANIZACIJE

Prof. dr Milomir GAŠIĆ, dipl.maš.inž.  
Mr Goran MARKOVIĆ, dipl.maš.inž.  
Doc. dr Mile SAVKOVIĆ, dipl.maš.inž.

*Prof. dr Milomir Gašić, dipl.maš.inž.* . Rođen je 1950. god. u Rataju, opština Aleksandrovac. Mašinski fakultet završio 1974. godine. Magistrirao je 1983. godine, doktorirao 1989. godine. Na Mašinskom fakultetu u Kraljevu predaje predmete Transportni uređaji i Dizalične mašine. Autor je više naučnih i stručnih radova u zemlji i inostranstvu. Za svoj diplomski rad 1974, dobio je Oktobarsku nagradu Grada Beograda. Obavio je specijalističke studije u Engleskoj (COLES) i u SAD. Bio je učesnik ili rukovodilac više naučno-istraživačkih projekata. Autor je knjige "Transportni uređaji-neprekidni transport"



*Mr Goran Marković, dipl. inž. maš.* Rođen 05.11. 1971. god. u Vršcu. Godine 1991 upisao Mašinski fakultet u Kraljevu. Diplomirao je 1996. Iste godine zaposlio se na Mašinskom fakultetu u Kraljevu kao asistentpripravnik za predmete Transportni uređaji i Dizalične mašine. Magistarski rad "Uticajni parametri na vezu okretnog i neokretnog dela kod mašina građevinske i transportne mehanizacije", odbranio 2004. na Mašinskom fakultetu Kraljevo. Kao autor ili koautor objavio 6 naučnih i naučno-stručnih radova u zemlji i inostranstvu. Kao projektant učestvovao u većem broju realizovanih projekata kao i u jednom projektu koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju.



*Doc. dr Mile Savković, dipl. inž. maš.* Rođen je 1967. god. u Rojčićima kod Raške. Mašinski fakultet upisao 1987. god. u Kraljevu gde je i diplomirao 1992. godine. Magistarski rad na temu "Istraživanje dinamičkih uticaja na strelu portalne dizalice" odbranio 1996. god. na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Doktorsku tezu: "Uticajni parametri na čvrstoću i stabilnost višesegmentnih strela dizalica" odbranio je 19.01.2001. godine na Mašinskom fakultetu u Kraljevu. Autor je više naučnih i stručnih radova u zemlji i inostranstvu. Zaposlen na Mašinskom fakultetu u Kraljevu kao docent za predmet Metalne konstrukcije.



---

Kategorija rada: STRUČNI RAD  
Recezent: Prof. dr Vinko Jevtić  
UDK/UDC: 65.011.54 : 621.822.116  
Rad primljen: 24.09.2004.

ADRESA:  
Mašinski fakultet  
Dositejeva 19  
36000 Kraljevo

---

## 1. UVOD

Analiza prenošenja opterećenja sa okretne platforme na noseću konstrukciju i dalje na površinu oslanjanja vršena je u većem broju radova bilo da se radi o bagerima, portalnim dizalicama ili drugim mašinama građevinske i

transportne mehanizacije 1. U toku rada bagera i drugih mašina nije moguće ostvariti potpuni kontakt između guseničnog hodnog stroja i površine oslanjanja zbog neravnina površine oslanjanja, tako da dolazi do pojave uvijanja noseće konstrukcije.

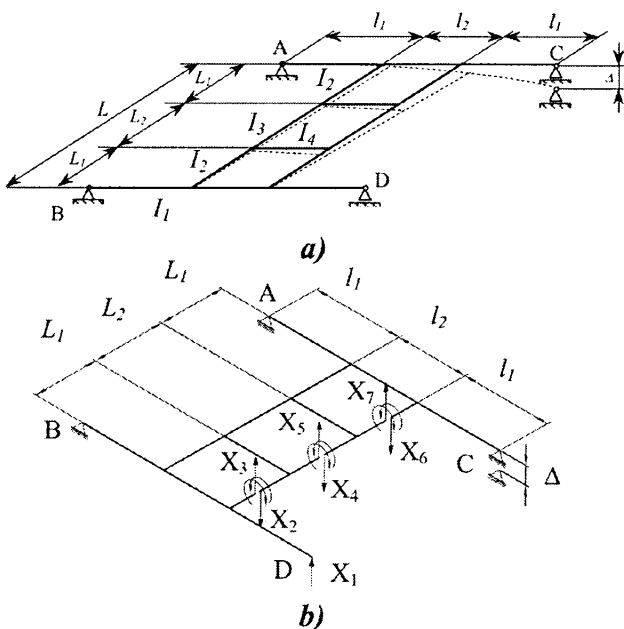
Ova pojava, izaziva deplanaciju oslone konstrukcije radijalno-aksijalnog ležaja.

Dug vek i funkcionalnost ovih ležajeva u mnogome zavisi od krutosti oslone površine za vezu ležaja. Izborom geometrijskih veličina oslone konstrukcije radijalno-aksijalnog ležaja može se uticati na definisanje potrebne krutosti noseće konstrukcije mašina građevinske i transportne mehanizacije. Zbog nemogućnosti ostvarenja kontakta između staze i hodnog stroja, bilo da je ugibanje podloge ili pak greške nastale u toku izrade, dolazi do pojave odizanja ili spuštanja nekog od točkova mašine, odnosno preraspodele vertikalnih reakcija u osloncima a samim tim i deformacija noseće konstrukcije.

## 2.DEFINISANJE MODELA

Analitičko definisanje zavisnosti krutosti i uticaja odnosa geometrijskih veličina oslone konstrukcije omogućilo bi iznalaženje parametara konstrukcije koji bi obezbedili uspešno praćenje staze i pravilnu funkciju veze posredstvom radijalno-aksijalnog ležaja.

Ako se pretpostavi da se jedan od oslonaca (na primer oslonac C) spusti za veličinu  $\Delta$  (slika 1a), osnovni sistem se formira tako što se u osloncu D uvodi nepoznata sila  $X_1$ , a umesto odbačenih veza nepoznate  $X_i$  ( $i=2,3,\dots,7$ ).



Slika 1

Ako se uvedu odnosi veličina, za model noseće strukture prikazan na slici 1:

$$\psi = L_1/L_2; \eta = I_5/I_2; \beta = I_4/I_2; \varphi = I_3/I_2; w = l_1/l_2; I_2 = I_1$$

može se primenom kanonskih jednačina:

$$\sum_{j=1}^{10} \delta_{ij} \cdot X_j + \Delta_i = 0 ; i = 1,\dots,7 \quad (1)$$

i neke od analitičkih metoda, doći do teorijskih zavisnosti:

$$\frac{C_{ki}}{C_{kj}} = \left(\frac{k_i}{k_j}\right)^{\sqrt{3}} \quad \text{i} \quad \frac{C_{Li}}{C_{Lj}} = \left(\frac{L_j}{L_i}\right)^3 \quad (2)$$

gde je:

$\delta_{ij}$  - pomeranje tačke  $i$  usled delovanja jediničnog opterećenja  $\bar{X}_j = 1$ ;

$X_j$  - stvarna vrednost nepoznate veličine;

$\Delta_i$  - pomeranje tačke  $i$  usled delovanja spoljašnjeg opterećenja.

U razmatranjima je korišćena relacija odnosa savojne i torziona krutosti za sandučaste nosače od čeličnih limova:

$$\mu = \frac{EI_x}{GI_{\theta j}} = \sqrt{3}k\lambda^{0.4} \quad (3)$$

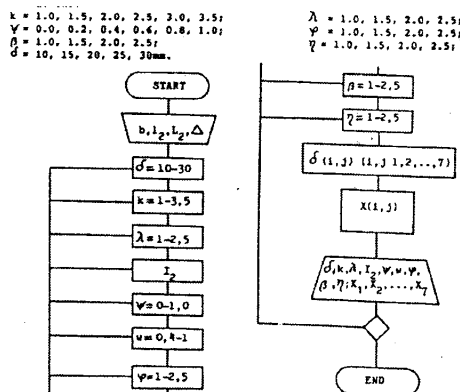
gde je :

$k$  - koeficijent odnosa visine i širine nosača

$\alpha$  - koeficijent odnosa debljine horizontalnih i vertikalnih limova nosača

## 3.REŠAVANJE POSTAVLJENOG PROBLEMA

Rešavanjem sistema kanonskih jednačina po nepoznatoj  $X_1$  uz poznavanje veličine "spuštanja" oslonca  $\Delta$ , moguće je odrediti krutost, saglasno algoritmu prikazanom na slici 2.



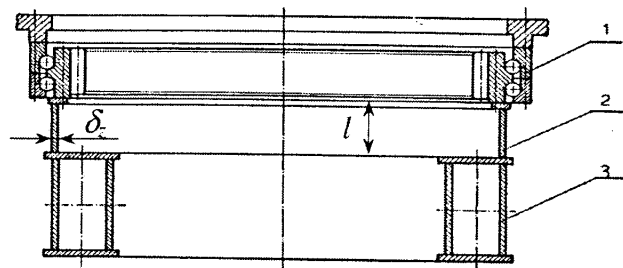
Slika 2

Na osnovu ovih analiza, dolazi se do zaključka da je moguće pogodnim izborom odnosa geometrijskih veličina noseće konstrukcije uticati na dobijanje potrebne krutosti i to:

- odgovarajuću krutost cele strukture,

- bolje naleganje ili praćenje staze po kojoj se mašina kreće, a samim tim i ispravno funkcionisanje veze okretnog i neokretnog dela.

Međutim i pored tako definisanog odnosa ne može se obezbediti krutost pri kojoj bi deplanacija oslone površine bila manja od dozvoljene. Sastavni element, čija ugradnja bitno utiče na efekat povećanja krutosti oslone površine radijalno – aksijalnog ležaja, je cilindrični nosač (slika 3- pozicija 3).



Slika 3

Ostvarivanje funkcije cilindričnog nosača, pre svega zavisi od njegovih geometrijskih karakteristika. Definisanjem potrebne visine  $l$  i debljine zida cilindričnog nosača moguće je smanjiti vitoperenje oslone površine ležaja velikog prečnika.

Za određivanje potrebne visine cilindričnog nosača pri kojoj se promena cilindričnosti ne prenosi sa jednog na drugi kraj cilindra sa tankim zidom, koristi se nejednačina:

$$\beta \cdot l \geq 3 \Rightarrow \sqrt{\frac{3(1-\nu)^2}{r^2 \cdot \delta_z^2}} \cdot l \geq 3 \quad (4)$$

gde je:

$\nu$ - Poasonov koeficijent,

$\delta_z$ - debljina zida cilindričnog nosača,

$r$ - poluprečnik krivine cilindričnog nosača.

Na osnovu analize izvedenih rešenja može se zaključiti da se odnos poluprečnika i debljine cilindričnog nosača kreće u granicama  $r/\delta_z = 20 \div 30$ , pa je najmanja visina  $l$  za  $\nu=0,3$ :

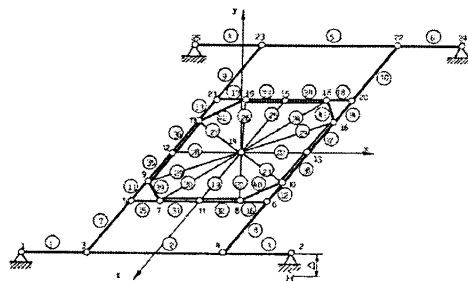
$$l \geq (0.45 - 0.56) \cdot r \quad (5)$$

Znatan uticaj na pojavu deformacija oslone površine cilindričnog nosača ima debljina zida. Imajući u vidu opterećenja koja radijalno-aksijalni ležaj prenosi u toku rada, za određivanje debljine zida potrebno je odrediti pomeranja tačaka oslone površine koja su posledica dejstva radijalne sile i momenta preturanja.

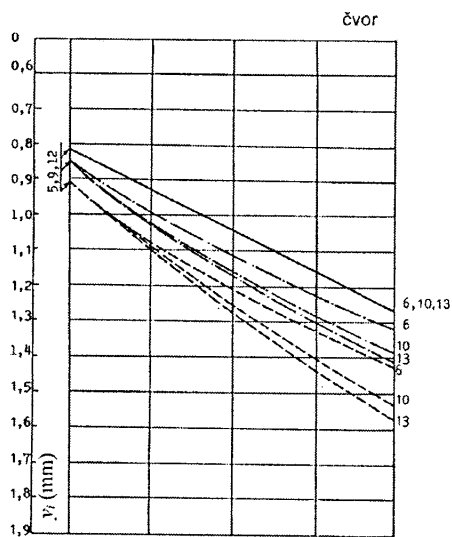
Iz uslova da tako izračunato pomeranje bude manje od dozvoljenog dobija se:

$$\delta_z \geq \frac{2 \cdot M \cdot l + F_r \cdot l^2}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot E \cdot \delta_{doz}} \quad (6)$$

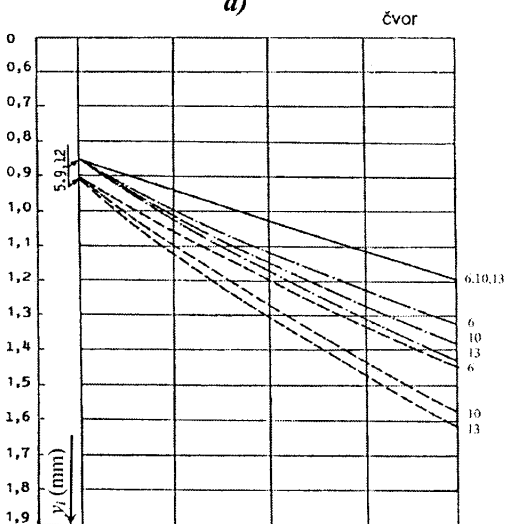
Za model (slika 4) sa geometrijskim veličinama za dva izvedena rešenja, sa i bez posrednog elementa između radijalno – aksijalnog ležaja i noseće strukture (pozicija 2, slika 3), izvršena je uporedna analiza pomeranja karakterističnih tačaka oslone površine.



Slika 4



a)



b)

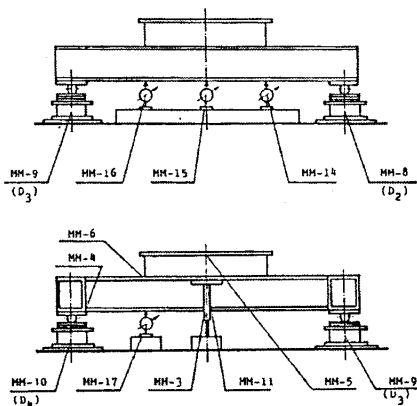
- kruti model
- - - elastični model bez prstena
- · - elastični model sa prstenom

Slika 5

Takođe, izvršeno je i eksperimentalno ispitivanje u cilju verifikacije teorijskih rezultata. Merni davači su postavljeni na odgovarajućim mestima noseće strukture radialno-aksijalnog ležaja (slika 6).

Karakteristični položaji okretne platforme razmatrani u toku eksperimenta su sledeći:

- Noseći ram se oslanja na sve oslonce, kada su isti u horizontalnoj ravni, opterećen sopstvenom težinom i dodatnim teretom. Zakretanje je vršeno sa zaustavljanjem na svakih  $45^\circ$  i bez zaustavljanja.
- Noseći ram se oslanja na oslonce pri čemu je jedan od njih spušten za veličinu  $\Delta$  opterećen sopstvenom težinom i dodatnim teretom. Zakretanje je vršeno sa zaustavljanjem na svakih  $45^\circ$  i bez zaustavljanja.



Slika 6

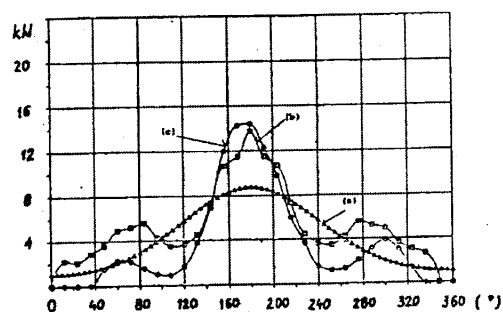
Uporedni rezultati krutosti, dobijeni proračunom i ispitivanjem, pokazuju da je visoka saglasnost (odstupanje je manje od 13%).

Tabela 1

	Sila na osloncu (kN)	Ugibi na osloncu 2 (mm)
Računska vrednost	57.79	2.3
Eksperimentalna vrednost	56.98	2.0

Radialno – aksijalni ležajevi imaju nezatnu sopstvenu krutost. Opterećenja od momenta su različita po obimu ležaja i izazivaju povećanje pritiska na jednu grupu kuglica (valjčića), a smanjenje na drugu. Ako su oslone površine okretnog i neokretnog dela, koje se vezuju, krute; tj. ako su pomeranja neke od tačaka manja od dozvoljenih vrednosti, onda se može uzeti da je raspodela sila od momenta prava linija.

Rezultati analize raspodele opterećenja za različite proračunske modele prikazani su na slici 7a.

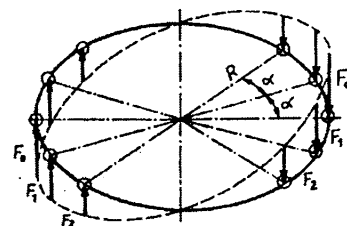


kriva –a – kruti model

kriva –b – metod konačnih elemenata

kriva –c – eksperimentalni rezultati

a)



b)

Slika 7

Raspodela opterećenja od momenta, pri jednakom odstojanju kuglica definisanim uglom  $\alpha$  (slika 7b), može se odrediti jednačinom:

$$M = 2F \cdot r = 2 \cdot F_0 \cdot r + 4F_1 \cdot r \cdot \cos \alpha + 4F \cdot r \cdot \cos 2\alpha + \dots + 4F_x \cdot r \cdot \cos x\alpha \quad (7)$$

gde su :

$\alpha = 2\pi/z$  – ugao između dve susedne kuglice

$x = (z-4)/4$  – broj uglova na jednoj četvrtini ležaja

$r$  – poluprečnik putanje kuglice

$z$  – broj kuglica

Ako sila  $F_0$  izaziva deformaciju  $\delta_0$ , onda je deformacija od sile  $F_x$ ,  $\delta_x = \delta_0 \cdot \cos x \alpha$ .

Pokazuje se da važi relacija:

$$\frac{F_0^2}{\delta_0^3} = \frac{F_1^2}{\delta_1^3} = \frac{F_2^2}{\delta_2^3} = \dots = \frac{F_x^2}{\delta_x^3} = const \Rightarrow \quad (8)$$

$$F = F_0 (1 + 2 \cos^{2.5} \alpha + 2 \cos^{2.5} 2\alpha + \dots + 2 \cos^{2.5} x\alpha)$$

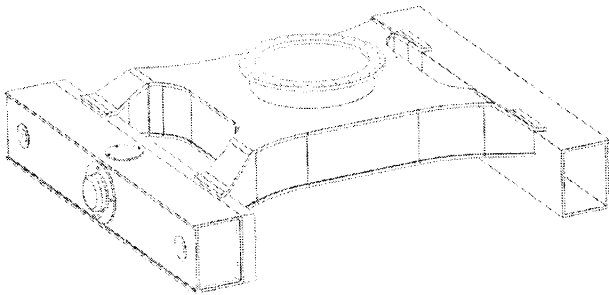
Izraz u zagradi zavisi od broja kuglica  $z$ . Za razne vrednosti brojeva kuglica, dobijaju se odnosi  $z/(F/F_0)$  prikazani u tabeli 2.

Tabela 2

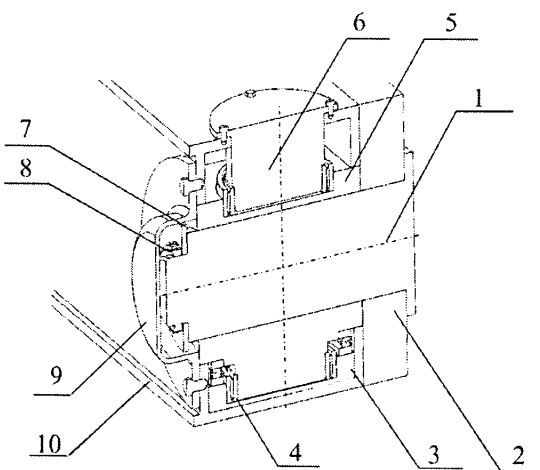
Broj kuglica $z$	Ugao između kuglica $\alpha$	Broj uglova $x$	Odnos $z/(F/F_0)$
12	30	2	4.36
16	22.5	3	4.37
36	10	8	4.37
72	5	17	4.40

Vidi se da ti odnosi imaju vrednost oko 4.37, što govori da 1/4 do 1/5 kuglica prenosi opterećenje od momenta, ili da je ležaj opterećen na delu koji je ograničen uglom od  $72^\circ$  do  $90^\circ$ ; tj. u odnosu na vertikalnu ravan dejstva momenta (ravan u kojoj leži strela) po  $45^\circ$  sa jedne i druge strane. Pri idealnoj krutosti raspodela opterećenja je po pravou liniji. Pri uzimanju u obzir i elastičnih deformacija, raspodela opterećenja od momenta ne prati pravu liniju. Odstupanja za stvarni model dostižu vrednosti veće od teorijskih i do 30%. Opterećenje od momenta se prenosi preko dela prstena, ograničenog uglom od  $45^\circ$  sa jedne i druge strane ravni dejstva momenta, što ukazuje na činjenicu da taj segment okretnog dela (i njemu suprotan) mora da ima veću krutost.

Deformacije i neravnine tla, definisane preko ugla u odnosu na referentnu ravan po pravilu ne prelaze vrednosti  $\pm 10^\circ$  u preko 80% radnih slučajeva. Ako se konstruktivno rešenje veze glavnog nosača i nosača ležaja izvede u obliku zgloba (slika 8 i slika 9) može se eliminisati uticaj deformacije i neravnina tla na vitoperenje oslone površine za vezu ležaja.



Slika 8



- |                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| 1. rukavac;            | 2 ploča sa vođicama; |
| 3. aksijalni ležaj;    | 4. radijalni ležaj;  |
| 5. čaura;              | 6. glavni nosač;     |
| 7. profilisana vođica; |                      |

Slika 9

#### 4. ZAKLJUČAK

U poređnom analizom veličina pomeranja karakterističnih tačaka oslonih površina za prvu i drugu varijantu (slika 5) može se odrediti uticaj ugradnje cilindričnog nosača na smanjenje deplanacije i pomeranja tačaka oslone površine za vezu radijalno-aksijalnog ležaja.

Ugrađenim cilindričnim nosačem nije moguće uvek ostvariti pomeranja koja su manja od dozvoljenih. Ugradnjom cilindričnog nosača se smanjuje stabilnost bagera pri radu.

Zbog toga treba istraživati oblik noseće konstrukcije bez cilindričnog nosača. Rešenje je u zgloboj nosećoj konstrukciji (slika 8 i slika 9) koja će u velikoj meri eliminisati uticaje neravnina staze (terena) na deplanaciju oslone konstrukcije ležaja.

#### 6. LITERATURA

- [1] D.M. Jevtić, M.M. Gašić: The influence of relation between elements geometric dimensions of a dredger supporting structure and the connection with the rotating platform, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, IECD, VOLUME 3, Dubrovnik, 28-31 August 1990.
- [2] Александром М.П.: "Подъемно-транспортные машины", Москва, Высшая школа, 2000.
- [3] Gašić M, Petrović D: Geometrijska identifikacija cilindričnih nosača radijalno-aksijalnih ležajeva velikih prečnika, Naučno-stručni skup TRANSPORT U INDUSTRIJI, Mašinski fakultet Beograd, 1992.
- [4] Marković G.: "Uticajni parametri na vezu okretnog i neokretnog dela kod mašina građevinske i transportne mehanizacije", Magistarski rad, Mašinski fakultet Kraljevo, 2004.
- [5] Гашич М., Маркович Г., Савкович М.: "Воздействие конструктивных решений металлической конструкции экскаватора на повышение функциональности и долговечности радиально-упорного подшипника для связи оборотной платформы", Международная научно-техническая конференция Интерстроймех-2004, Воронеж 2004.

## REZIME

Izborom geometrijskih veličina oslone konstrukcije radijalno-aksijalnog ležaja može se uticati na definisanje potrebne krutosti noseće konstrukcije mašina građevinske i transportne mehanizacije. Ovaj parametar ima dominantan uticaj na funkcionalnost i pouzdanost rada radijalno-aksijalnog ležaja.

I pored primeneteorijskih zavisnosti geometrijskih veličina koje u potpunosti utiču na smanjenje deplanacije oslone konstrukcije, nije moguće u potpunosti eliminisati navedenu pojavu.

Sistematizacijom teorijskih i eksperimentalnih rezultata istraživanja izvedenih rešenja, u radu se, na kraju, daje jedno novo rešenje koje u velikoj meri eliminiše spoljašnje uticaje neravnina staze po kojoj se kreće ili radi bager.

KLJUČNE REČI: građevinske i transportne mašine, mehanizacija, radijalno aksijalni ležaj

---

## ADDITION TO THE NEW SOLUTION DEVELOPMENT OF CONNECTING ROTARY AND NON-ROTARY PLATFORM IN CONSTRUCTION&TRANSPORT MACHINES SUMMARY

By choosing the geometric values of supporting construction of radial-axial bearing, it can be influenced on defining the necessary rigidity of machine carrying construction. This parameter has a dominant influence on efficiency and reliability of functioning of radial-axial bearing.

It is not possible to completely eliminate the mentioned occurrence even if theoretical dependence of geometric values, which influence on decrease of supporting construction deplanation, is applied.

By systematization of theoretical and experimental research results and existing solutions, this paper gives a new solution that almost completely eliminates the outer influences of uneven path along which the excavator moves.

KEY WORDS: construction&transport machines, machinery, radial-axial bearing

---

## ПРИЛОЖЕНИЕ РАЗВИТИЮ НОВИХ РЕШЕНИЯХ СВЯЗЫ ОБОРОТНОГО И НЕОБОРОТНОГО УЗЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

### РЕЗЮМЕ

Выбором геометрических величин опорных конструкций радиально-упорные подшипники можно влияют на жесткость металлической конструкции строительных и дорожных машин. Этот параметр имеет самое значительное влияние на функциональность и долговечность работы радиально-упорные подшипника.

Кроме применения теоретических зависимости которые в полностью влияют на уменьшение депланации опорной конструкции, не можно в целостью элиминировать это явление.

Систематизированием теоретических и экспериментальных результатов исследования решений, в докладе, на конце, приказано новое решение которое в большой сразмере элиминироват внешние влияния неровности площадки по которой движутся строительные и дорожные машины.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительные и дорожные машины, механизация, радиально-упорные подшипники

---