



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ



Весна Д. Јовановић

**ПРИЛОГ СИНТЕЗИ ПОГОНСКОГ МЕХАНИЗМА
ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ ХИДРАУЛИЧКИХ БАГЕРА**

докторска дисертација

Ниш, 2018.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING



Vesna D. Jovanović

**A CONTRIBUTION TO THE SYNTHESIS OF THE
SLEWING PLATFORM DRIVE MECHANISM OF
HYDRAULIC EXCAVATORS**

Doctoral dissertation

Niš, 2018.

Подаци о докторској дисертацији

Ментор:	др Драгослав Јаношевић, редовни професор, Универзитет у Нишу, Машински факултет
Наслов:	Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера
Резиме:	<p>У дисертацији је дефинисана општа методологија за синтезу погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера свих величина. Методологија синтезе погонског механизма обртне платформе багера заснована је на поступку модуларног пројектовања, којим се компоненте погона дефинишу на основу параметара функција погона и функционалних ограничења расположивих компонената погона које производе специјализовани произвођачи.</p> <p>Добијени резултати истраживања се односе на: анализу параметара функција погона, избор аксијалног лежаја и синтезу погона обртне платформе багера.</p> <p>Анализа параметара функција, односно компонената оптерећења и енергетских параметара погонског механизма обртне платформе багера обављено је поступцима нумеричке и експерименталне анализе, на основу развијених општих динамичких математичких модела багера и софтвера. Анализа параметара функција показују да: примарни утицај на погон платформе имају силе и моменти отпора копања и гравитационе силе чланова кинематичког ланца и захваћеног материјала.</p> <p>За избор величине аксијалног лежаја погона обртне платформе, у дисертацији, су дефинисани математички модели и софтвери за одређивање спектра оптерећења којима се у односу на дозвољену носивост лежаја, из скупа расположивих, бира одговарајућа величина лежаја. Спектар оптерећења граде евивалентне силе и еквивалентни моменти оптерећења аксијалног лежаја дефинисани на основу граничних сила отпора копања које дозвољава стабилност багера и које могу да савладају максималним деловањем погонски механизми манипулатора багера. Резултати спроведених истраживања, у оквиру дисертације, показују да су за избор аксијалног лежаја погона платформе меродавна еквивалентна оптерећења која се јављају при операцији копања багера са утоварним и дубинским манипулатором.</p> <p>За синтезу погонских механизма обртне платформе дефинисан је математички модел и развијен софтвера за генералисање могућих варијантних решења погона избором компонената погона: хидропумпе, хидромотора и планетарног редуктора из датотека расположивих компонената, према задатим параметрима функција погона и изабраној величини аксијалног лежаја. Резултати синтезе показују да се за исте задате параметре функција генеришу варијантна решења са различитим трансформационим и преносним параметрима, односно са хидромоторима мањег специфичног протока а редукторима мањег преносног односа и обрнуто.</p>
Научна област:	Машинско инжењерство
Научна дисциплина:	Транспортна техника и логистика
Кључне речи:	погонски механизми, хидраулички багери
UDK:	621.879.45+621.879.48]:519.6(043.3)
CERIF класификација:	T210
Тип лиценце креативне заједнице:	CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor:	dr Dragoslav Janošević, full professor, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering in Niš
Title:	A contribution to the synthesis of the slewing platform drive mechanism of hydraulic excavators
Summary:	<p>The dissertation defines the general methodology for the synthesis of the slewing platform drive mechanism of hydraulic excavators. The methodology of the synthesis of the drive mechanism of the excavator slewing platform is based on the modular design process, by which the drive components are defined on the basis of the parameters of drive functions and functional constraints of the available components of the drives produced by specialized manufacturers. The obtained research results are related to: the analysis of the parameters of drive functions, the selection of the axial bearing, and the synthesis of the slewing platform drive mechanism of the excavator.</p> <p>An analysis of the function parameters, i.e. the load components and the energy parameters of the drive mechanism of the excavator slewing platform, was carried out through numerical and experimental analysis based on the developed general dynamic mathematical models of excavators and software. The analysis of the function parameters shows that the primary influence on the platform drive is exerted by the forces and moments of the digging resistance and the gravitational force of the members of the kinematic chain and the affected material.</p> <p>For the selection of the size of the drive mechanism axial bearing, mathematical models and software were designed to determine the spectra of loads, which are used, in relation to the permissible load bearing capacity, to select the appropriate bearing size from a set of the available ones. The load spectrum builds equivalent load forces and moments, which are defined on the basis of the limit of the digging resistance that enables the stability of the excavator and that can overcome the maximum operation of the drive mechanisms of the excavator manipulator. The results of the conducted research, within the framework of the dissertation, show that for the selection of the axial bearing of the slewing platform, the equivalent loads that occur during the digging operation with the backhoe and shovel manipulator are applicable. A mathematical model is defined for the synthesis of the drive mechanisms of the slewing platform and software is developed for generalizing possible variant drive solutions by selecting the drive components: hydraulic pump, hydraulic motor and planetary gear, from the files of the available components according to the parameters of the drive functions and the selected axial bearing size. The results of the synthesis show that for the same given parameter functions, variant solutions are generated with different transformational and transfer parameters, i.e. with hydraulic motors with a smaller specific flow and a higher ratio and vice versa.</p>
Scientific field:	Машинско инжењерство
Scientific discipline:	Транспортна техника и логистика
Key words:	погонски механизми, хидраулички багери
UDK:	621.879.45+621.879.48]:519.6(043.3)
CERIF classification:	T210
Creative commons license type:	CC BY-NC-ND

Захвалност аутора

Ова докторска дисертација представља резултат вишегодишњег образовања и истраживачког рада и из тог разлога изражавам своју искрену захвалност и поштовање професорима, колегама, пријатељима и породици који су ми на том путу пружили велику помоћ и подршку.

Захваљујем се свом ментору, др Драгославу Јаношевићу, редовном професору Машинског факултета у Нишу, који ми је пренео љубав ка погонским системима мобилних машина, на пруженој помоћи и корисним саветима током докторских студија и изради ове дисертације.

Желим да искажем захвалност др Радомиру Ђокићу, доценту на Факултету техничких наука у Новом Саду, који ми је помогао при раду у програму MSC ADAMS.

Захваљујем се својом мајци и сестри, на непресталном подстреху и вери у мој успех.

Највећу захвалност изражавам свом супругу, који ми је кроз речи и дела пружао подршку, стабилан и сигуран ослонац.

Захваљујем се и свом сину Илији, који је разумео и толерисао мамине обавезе као велики и паметан дечак.

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	1
1.2. ЦИЉ НАУЧНОГ ИСТРАЖИВАЊА	2
1.3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА	4
2. ПОГОНСКИ МЕХАНИЗАМ ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ ХИДРАУЛИЧКИХ БАГЕРА	9
2.1. ОПШТЕ	9
2.2. СТРУКТУРА ПОГОНСКОГ МЕХАНИЗМА ПЛАТФОРМЕ	10
2.2.1. Аксијални лежајеви механизма погона обртне платформе	10
2.2.2. Преносници механизма погона обртне платформе	11
2.2.3. Хидростатички погони обртне платформе	12
2.3. МОРФОЛОШКА АНАЛИЗА ПОГОНА ПЛАТФОРМЕ	13
2.3.1. Варијанте механизма погона	13
2.3.2. Варијанте кинематичких ланаца багера	14
2.3.2.1. Варијанте ослоно-кретних механизма	14
2.3.2.2. Варијанте манипулатора	14
2.3.3. Манипулациони задатак багера	15
2.4. СИНТЕЗА ПОГОНА ПЛАТФОРМЕ	16
3. АНАЛИЗА ПОГОНСКОГ МЕХАНИЗМА ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ БАГЕРА ..	17
3.1. ОПШТЕ	17
3.2. НУМЕРИЧКА АНАЛИЗА ПОГОНА ОКРЕТАЊА ПЛАТФОРМЕ	18
3.2.1. Математички модел багера	18
3.2.2. Математички модел кинематичког ланца багера	21
3.2.2.2. Кинематичке величине	22

3.2.2.3. Динамичке величине	22
3.2.3. Математички модел погонских механизма манипулатора	24
3.2.3.1. Геометријске величине	25
3.2.3.2. Кинематичке и динамичке величине	26
3.2.3.3. Генералисане координате актуатора	27
3.2.4. Оптерећење зглоба кретни механизам - обртна платформа	29
3.2.5. Параметри и модели услова симулације	30
3.2.5.1. Параметри услова рада	30
3.2.5.2. Модел технологије рада	30
3.2.5.3. Путања манипулационог задатка	32
3.2.5.3. Време трајања операција	36
3.2.5.4. Модели отпора копања	37
3.2.5.5. Модели предмета рада	40
3.2.6. Програм за нумеричку симулацију багера	41
3.2.7. Пример нумеричке анализе	42
3.2.7.1. Кинематичка анализа	44
3.2.7.2. Анализа силе отпора копања	47
3.2.7.3. Анализа оптерећења зглоба обртне платформе	48
3.2.7.4. Енергетска анализа погона	54
3.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА ПОГОНА ОКРЕТАЊА ПЛАТФОРМЕ	56
3.3.1 Математички модел багера са дубинским манипулатором	57
3.3.1.1. Геометријске и кинематичке величине	58
3.3.1.2. Оптерећење погона платформе	59
3.3.1.3. Програм	61
3.3.3. Пример експерименталне анализе	62
3.3.3.2. Анализа сила отпора копања	62
3.3.3.3. Анализа оптерећења погона платформе	65
3.3.3.4. Енергетска анализа	70
3.3.3.5. Показатељи анализе	72

4. ИЗБОР АКСИЈАЛНОГ ЛЕЖАЈА ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ БАГЕРА	73
4.1. ОПШТЕ	73
4.2. КРИТЕРИЈУМИ ИЗБОРА АКСИЈАЛНОГ ЛЕЖАЈА	74
4.2.1. Еквивалентна оптерећења	76
4.2.1.1. Критеријуми избора Rothe Erde	76
4.2.1.2. Критеријуми избора INA	77
4.2.3. АНАЛИЗА ЕКВИВАЛЕНТНИХ ОПТЕРЕЋЕЊА.....	78
4.3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ БАГЕРА ЗА ИЗБОР ЛЕЖАЈА	83
4.3.1. Математички модел багера са утоварним манипулатором	83
4.3.1.1. Математички модел кинематичког ланца багера.....	83
4.3.1.2. Геометријске величине модела	85
4.3.1.3. Граничне силе отпора копања.....	87
4.3.2. Математички модел багера са дубинским манипулатором.....	92
4.3.2.1. Геометријске величине модела.	93
4.3.2.2. Граничне силе отпора копања.....	94
4.3.3. Могућа сила отпора копања	95
4.3.4 Програм за избор аксијалног лежаја.....	96
4.4. СПЕКТРИ ОПТЕРЕЋЕЊА АКСИЈАЛНОГ ЛЕЖАЈА	98
4.4.1. Анализа утицаја конфигурације кинематичког ланца багера	99
4.4.1. Анализа утицаја положаја кинематичког ланца багера	112
4.4.3. Анализа утицаја правца деловања отпора копања	117
4.4.4. Резултати поступка избора аксијалног лежаја.....	119
5. СИНТЕЗА ПОГОНА МЕХАНИЗМА ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ БАГЕРА.....	121
5.1. ОПШТЕ	121
5.2. СИНТЕЗА ПОГОНА МЕХАНИЗМА ПЛАТФОРМЕ	122
5.2.1. Математички модел погона механизма платформе	122
5.2.1.1. Максимално потребни погонски момент.....	124
5.2.1.2. Избор преносника погона платформе.....	127
5.2.2. Програм за синтезу погона механизма платформе	130

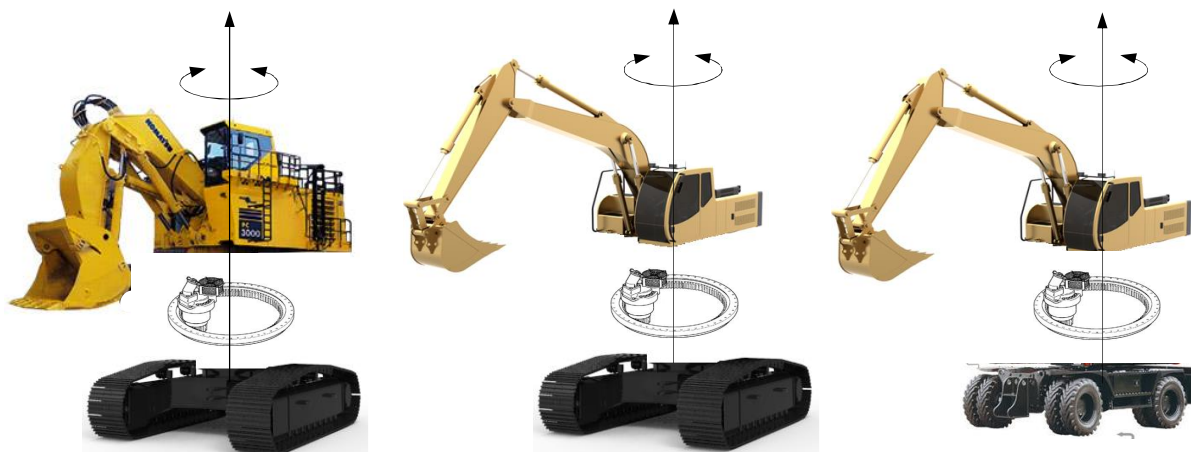
5.2.3. Пример синтезе механизма погона платформе	132
5.3. АНАЛИЗА ПОГОНА МЕХАНИЗМА ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ	135
5.3.1. Енергетска анализа ефикасности преносника погона.....	135
5.3.1.1. Степен корисности хидромотора преносника	136
5.3.1.2. Степен корисности редуктора преносника	136
5.3.1.3. Пример анализе енергетске ефикасности преносника.....	138
5.3.2. Динамичка анализа стабилности багера	141
5.3.2.1. Динамички математички модел багера	141
5.3.2.2. Пример динамичке анализе	144
5.3.3. Динамичко оптерећење погона	150
5.3.3.1. Пример анализе оптерећења.....	150
5.3.4. Резултати синтезе погона платформе	154
6. ЗАКЉУЧАК	155
ЛИТЕРАТУРА	159
ПРИЛОЗИ	167
Биографија аутора	186

1. УВОД

1.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

(, ,)
()
, : ,
, -
, -
, -
, -
(, ,).
, -
, : -
, -
: - - ,
, - ,
(-
)

(.1.1),



Сл. 1.1 Погонски механизам обртне платформе хидрауличких багера

1.2 ЦИЉ НАУЧНОГ ИСТРАЖИВАЊА



(-
.
(-
)

1.3 ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

:)
[1-5],)
[6-15],)
[16-20],)
[21-26].
:) [27-31],) -
[32-35],)
, , [36-40],)
, [41-45],) -
[46-50])
[51-55].
[56-58], - -
.
a -
[74], -

·
: max.
, min.
() , min. :
,
, min. max.
·
[11]

BN195,

a [9]

:

[27]

FEM

[38]

Hertz-

[45]

[30]

- ,
.
-
, *Kejn-* ,
, () -
.
-
,
-
,
-
:
,
-
.

[31]

LZKS 1600

Belchatow -

190 1200

[104]

Caterpillar 215B.

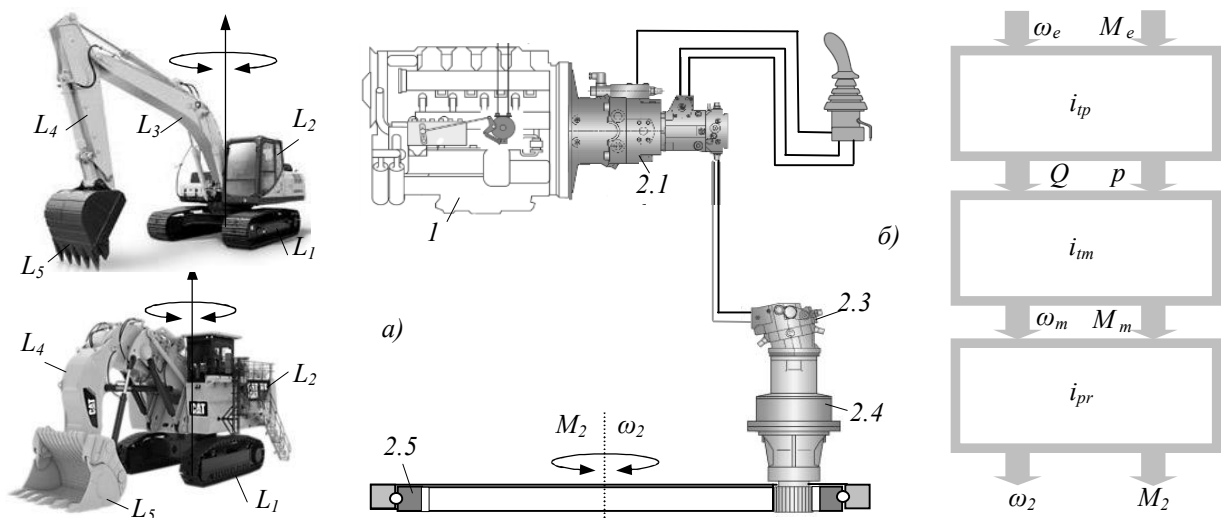
a

[51]

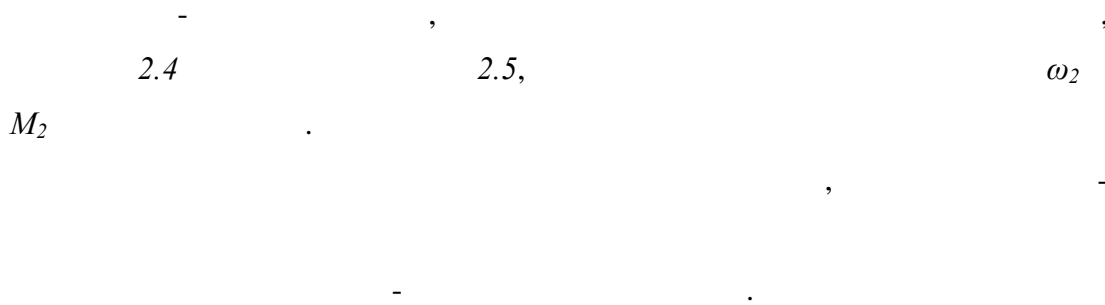
[59][60].

2. ПОГОНСКИ МЕХАНИЗАМ ОБРТНЕ ПЛАТФОМЕ ХИДРАУЛИЧКИХ БАГЕРА

2.1. ОПШТЕ

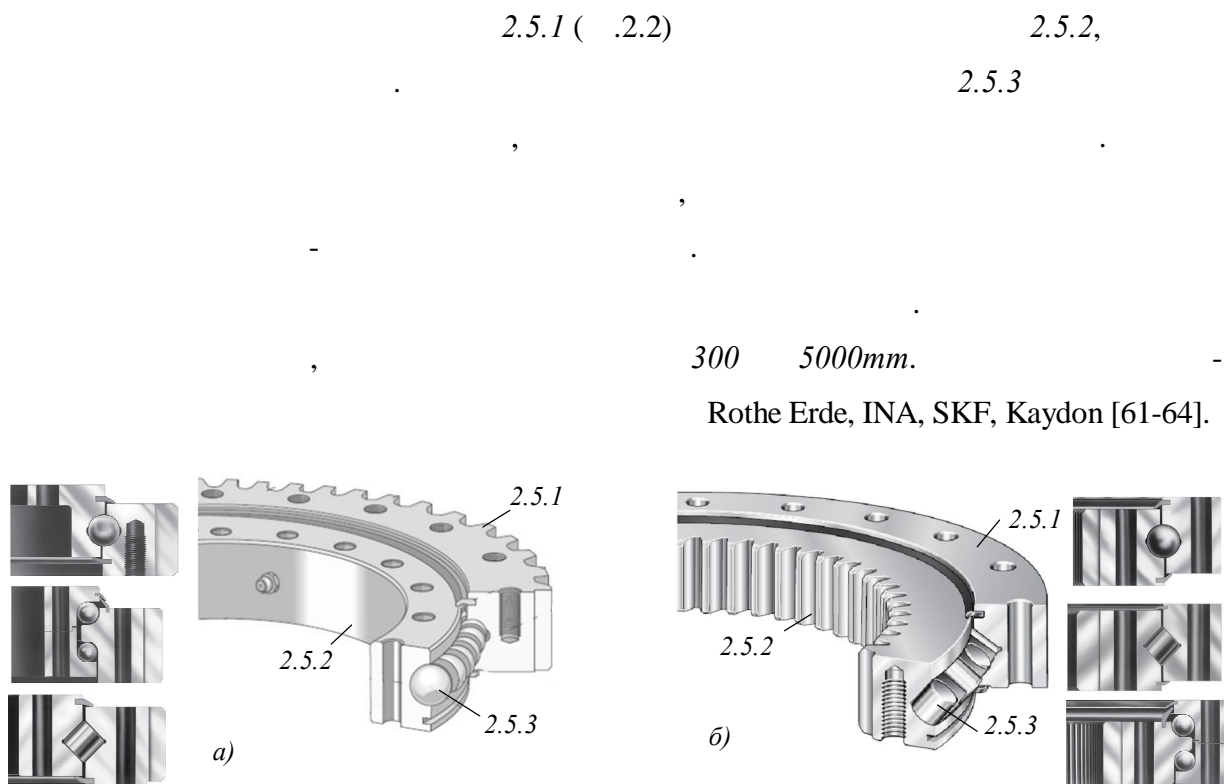


Сл.2.1 Општа концепција погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера: а)функционална шема, б) блок дијаграм



2.2. СТРУКТУРА ПОГОНСКОГ МЕХАНИЗМА ПЛАТФОРМЕ

2.2.1 Аксијални лежајеви механизма погона обртне платформе



Сл.2.2 Варијанте аксијалних лежајева великог пречника механизма обртне платформе багера: а) V51 са спољашним б) V52 са унутрашњим озубљеним прстеном

2.2.2. Преносници механизма погона обртне платформе

2.4

2.3 (. 2.3)

2.4.1

(. 2.2)

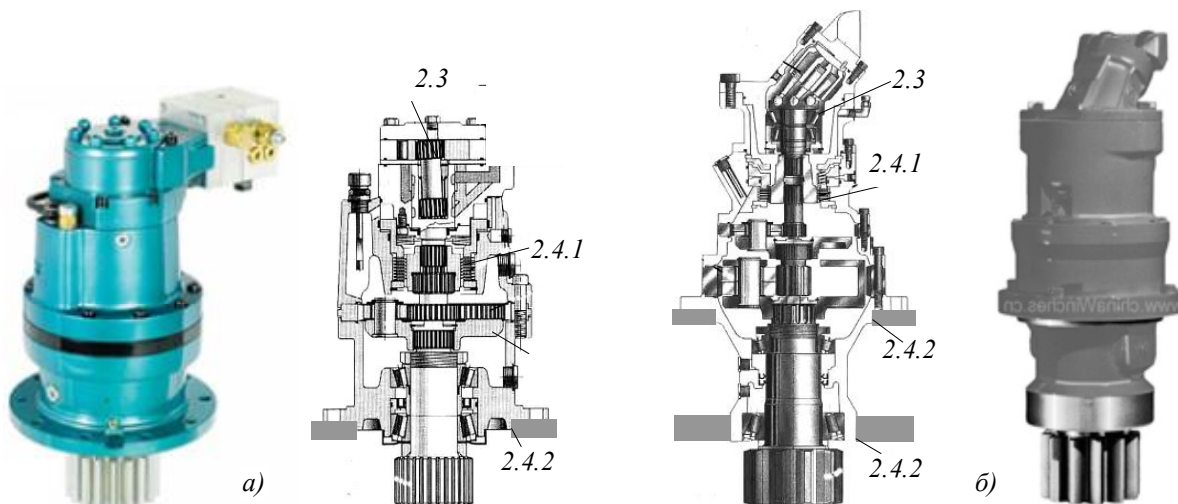
(. 2.3) (. 2.3)

2.4.2

80 80000 kNm

3 250.

Bosch Rexroth [65], Bonfiglioli [66], Linde [67].



Сл.2.3 Варијанте интегрисаних преносника погона окретања платформе багера: а) са зупчастим (орбитал) хидромоторима редуктором са јеним планетарним сетом и крећим излазним вратилом, б) са клипно- аксијалним хидромотором и редуктором са два планетарна сета и дужим излазним вратилом

2.2.3. Хидростатички погони обртне платформе

2.1 (.4 , ,),

2.2

2.3,

C_2

C_1

C_3-C_7

5000kg,

(.2.4),

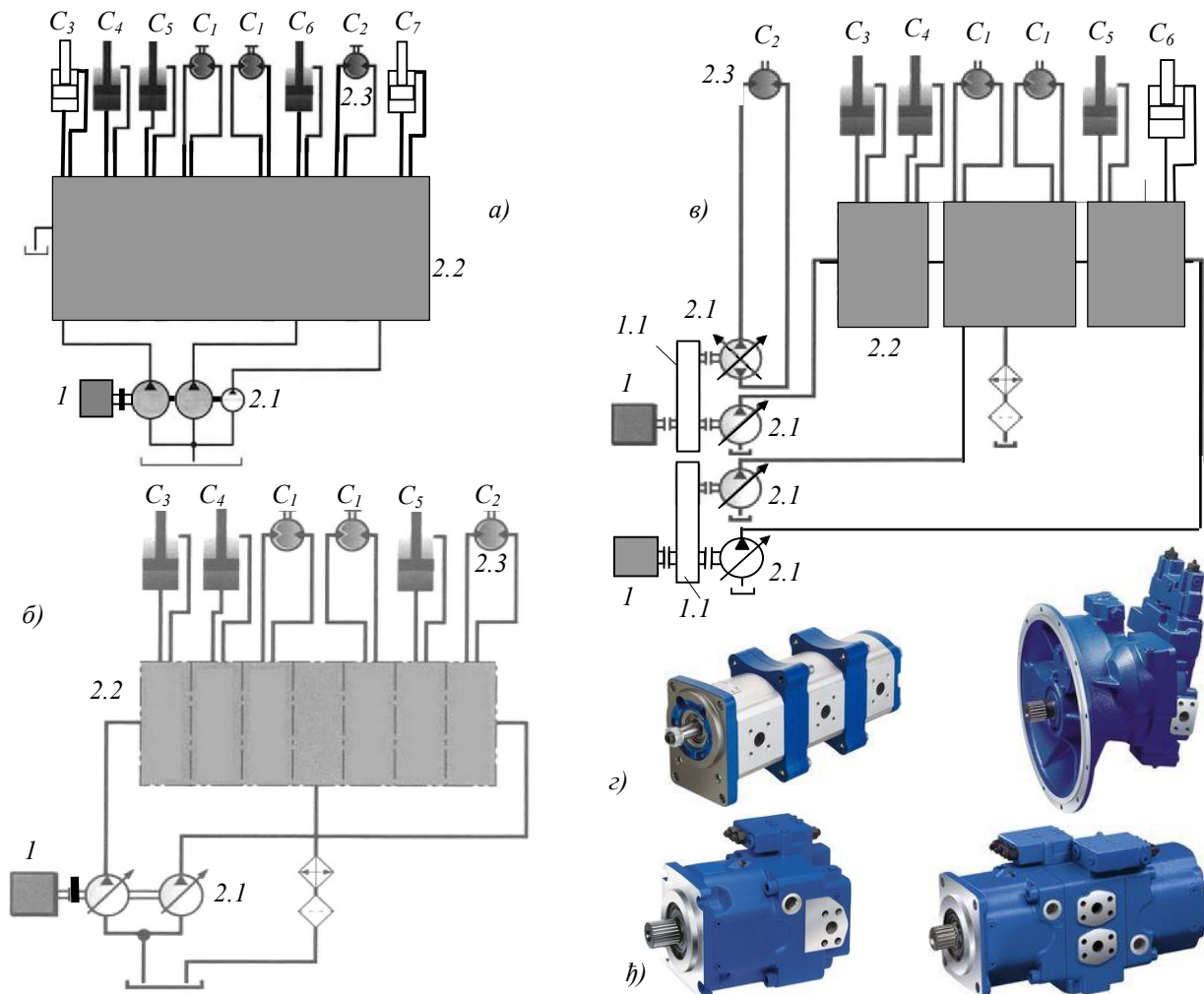
50000kg,

(.2.4).

(.2.4)

20 40 MPa.

BoschRexroth [65], Linde [67] Kawasaki [68].



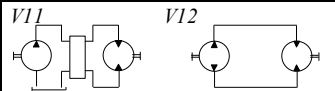
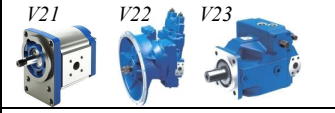


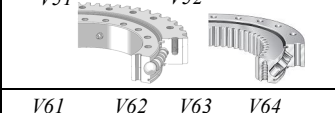

Сл.2.4. Хидростатички погони обртне платформе са: а) са три зупчасте хидропумпе, б) са две клипно-аксијалне хидропумпе, в) са једном двострујном клипно-аксијалном хидропумпом [10]

2.3. МОРФОЛОШКА АНАЛИЗА ПОГОНА ПЛАТФОРМЕ

2.3.1. Варијанте механизма погона

(Caterpillar, Komatsu, Liebherr) (1),
 (2.1) .
 () .
 a , 5000 kg,
 V11 V21 () V31.
 V41 .
 V61 V52.
 , 50000 kg,
 V11 -
 V22. -
 V32 V42 V43 .
 V52.
 , 50000 kg,
 V12
 V23. -

Табела Т 2.1 Морфолошка анализа погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера

	V_{ij}	$10^3 [kg]$							
		5	25	40	100	200	400	600	800
:		V11	•	•	•				
		V12			•	•	•	•	•
•		V21	•						
		V22		•	•				
		V23			•	•	•	•	•
•		V31	•						
		V32		•	•				
		V33			•	•	•	•	•
:		V41	•	•					
		V42		•	•	•	•	•	•
		V43		•	•	•	•	•	•
•		V51	•	•	•	•	•	•	•
		V52	•	•	•	•	•	•	•
•		V61	•	•					
		V62							
		V63			•	•	•	•	
		V64						•	•

V32

V42

V43

V61

V63

V62

V64.

2.3.2. Варијанте кинематичких ланаца багера

- L_{11}, L_{12} (.2.5)
 L_3, L_4, L_5 L_2

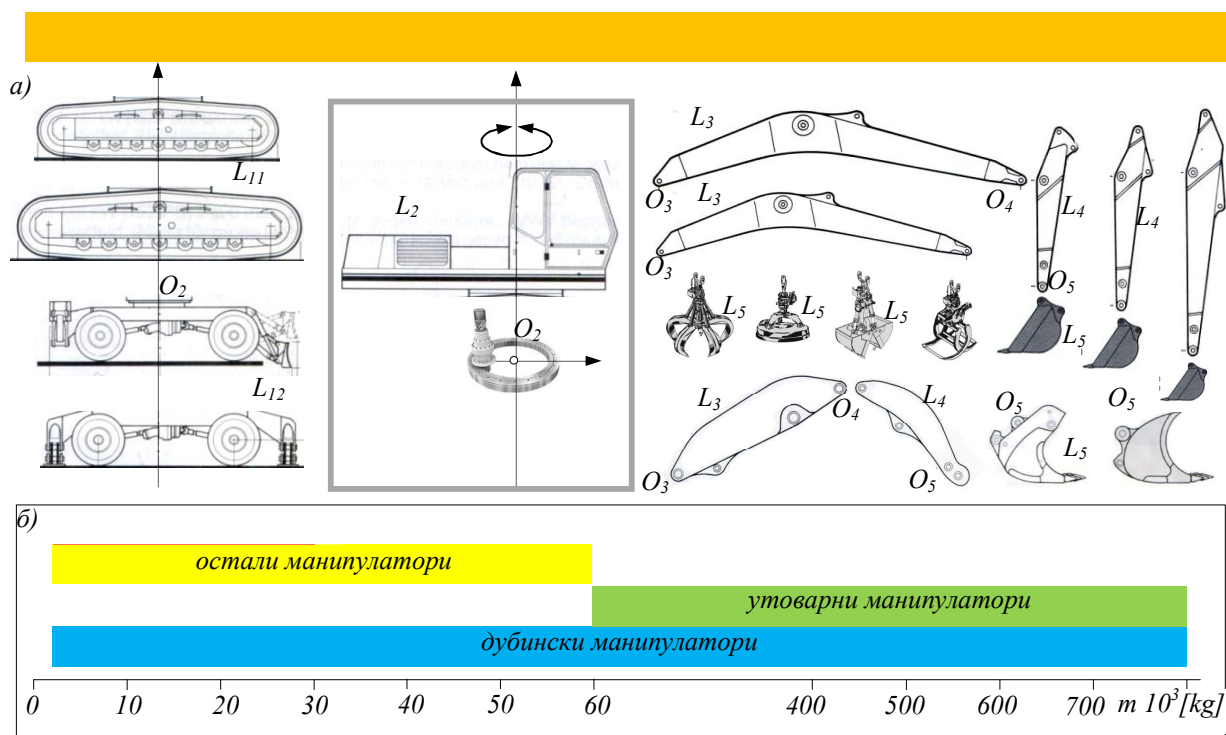
2.3.2.1. Варијанте ослоно-кретних механизма. -

- L_{11} (.2.5)
 L_{12} .

2.3.2.2. Варијанте манипулатора. -

(.2.5).

(.2.5).

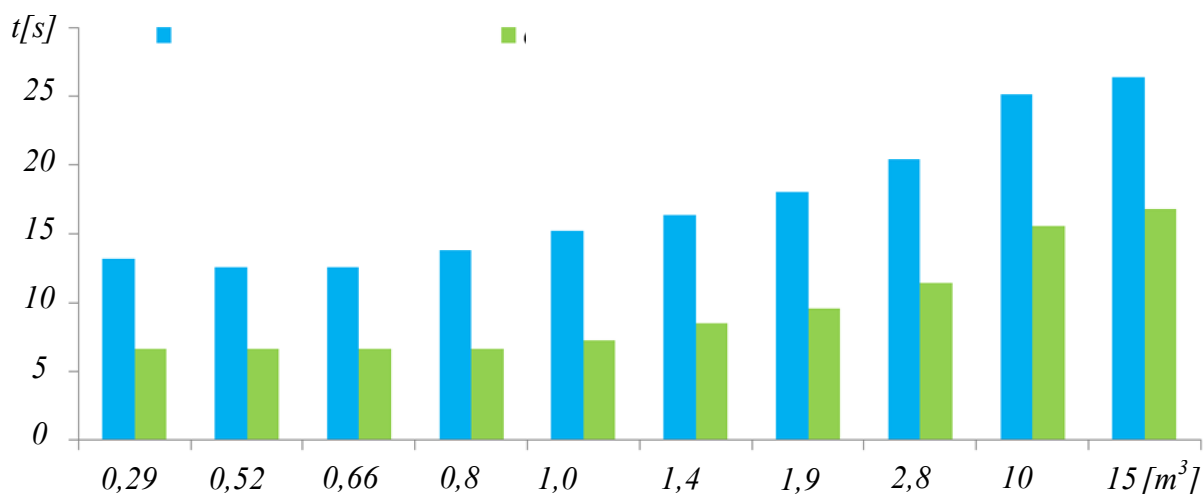


Сл.2.5.Кинематички ланци багера а) варијанте конфигурација кинематичких ланаца, б) заступљеност манипулатора

према себи,
 [69].
 (L_3 , L_4),
 L_5 (, ,) а
 .
 50000 kg.
 од себе .

2.3.3. Манипулациони задатак багера

-
 :
 ,
 а је,
 ,
 (.2.6),
 [70].
 ,
 e



Сл.2.6 Времена трајања укупног манипулационог задатка и времена трајања опреација при окретању платформе зависно од запремине кашике дубинских манипулатора багера [70]

2.4. СИНТЕЗА ПОГОНА ПЛАТФОРМЕ

, - ,
(, -
) -
.
, ,
, -
.
-
, ,
:) -
,) -
) . -
.
, ,
.
, , -
.

3. АНАЛИЗА ПОГОНСКОГ МЕХАНИЗМА ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ БАГЕРА

3.1. ОПШТЕ

je	-
,	-
:	-
•	-
•	,
•	.
:	-
•	-
,	-
•	-
.	-
.	-
.	-

3.2. НУМЕРИЧКА АНАЛИЗА ПОГОНА ОКРЕТАЊА ПЛАТФОРМЕ

3.2.1. Математички модел багера

Newton- Euler-

L_1 (.3.1),

L_2

: L_3, L_4, L_5

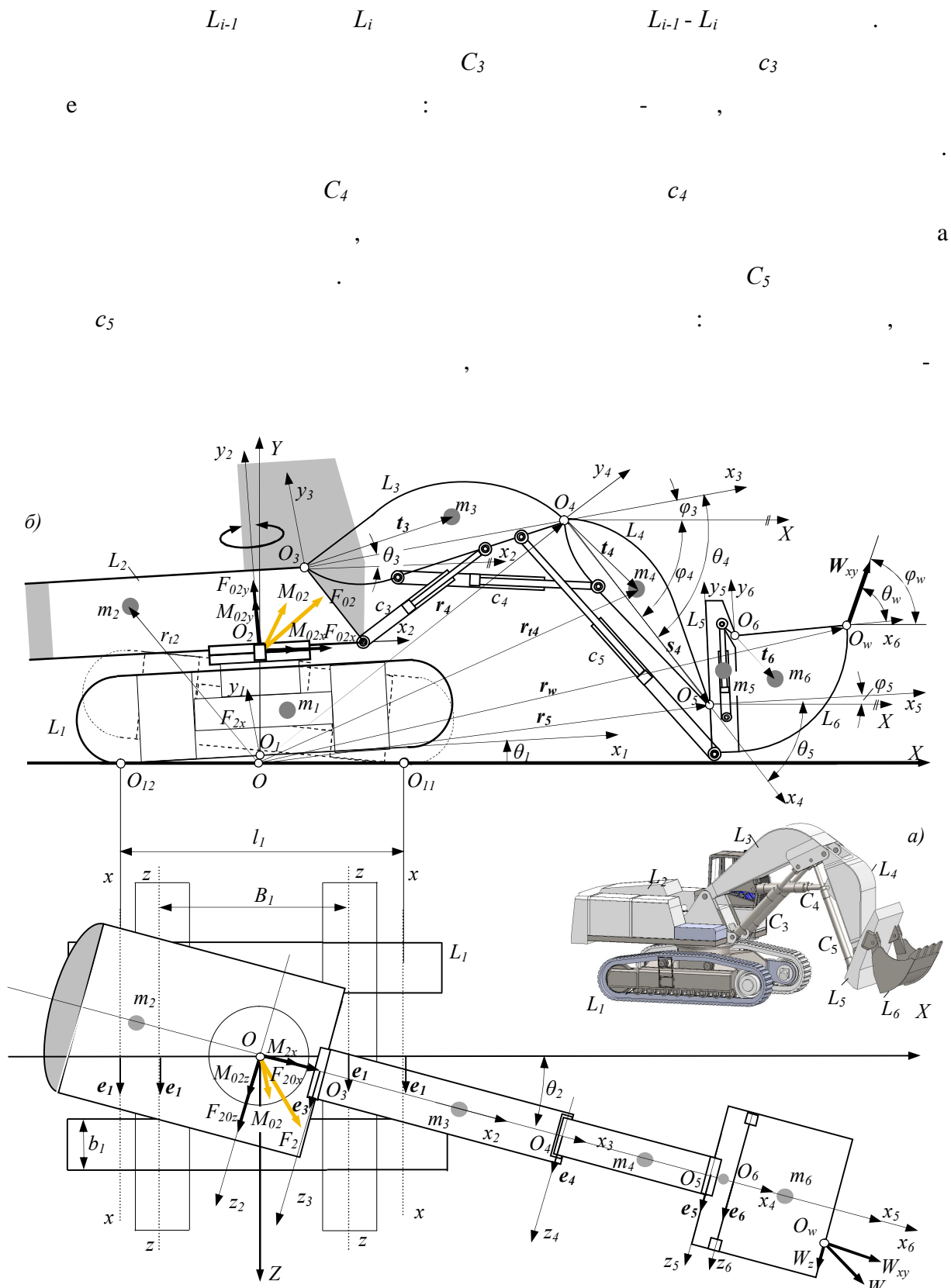
L_6 .

()

O_2

$(O_i$

$i=3,4,5,6)$



Сл.3.1 Модели багера са утоварним манипулатором: а) физички модел, б) математички модел

C_6 -
 e :
 O_{11}, O_{12} , ($x-x$ $z-z$)
 (.3.1);
 W , ()
 W ;
 $OXYZ$
 (.3.1) i, j, k Ox, Oy
 OZ Oxz -
 OY ,
 O_2
 (.3.1);

$$F_{02} = \sum_{i=2}^7 F_{ui} + \sum_{i=3}^6 F_{cui} + W \quad (3.1)$$

$$M_{02} = \sum_{i=2}^7 M_i + \sum_{i=3}^6 M_{ci} + \sum_{i=2}^7 M_{Fui} + \sum_{i=3}^6 M_{Fcui} + M_w \quad (3.2)$$

$: \mathbf{F}_{O_2}, \mathbf{M}_{O_2} -$ $O_2, \mathbf{F}_{ui}, \mathbf{M}_i, \mathbf{M}_{Fui} -$
 (),
 $e \quad e$ $O_2, \mathbf{F}_{cui}, \mathbf{M}_{ci}, \mathbf{M}_{Fcui}$
 - (),
 () $e \quad e$
 $O_2, \mathbf{W}, \mathbf{M}_w -$
 $O_2.$

3.2.2. Математички модел кинематичког ланца багера

$O_i x_i y_i z_i.$ L_i
 L_i O_i
 L_i $L_{i-1}.$
 $O_i x_i y_i z_i,$ L_i ,
 () [69][70]:
 $L_i = \{\widehat{e}_i, \widehat{s}_i, \widehat{t}_i, E_i, m_i, \widehat{J}_i\} \forall i = 1, \dots, 6$ (3.3)
 $: \widehat{e}_i -$ () O_i L_i
 $L_{i-1}; \widehat{s}_i -$ O_{i+1} L_i
 $L_{i+1},$
 $L_i; \widehat{t}_i -$ m_i $L_i; E_i -$
 $, \widehat{J}_i -$ $L_i.$

3.2.2.1. Геометријске величине. -

() θ_i (.3.1)
 θ_i L_i
 $L_{i-1}.$
 L_i -
 XOZ φ_i ():
 $\varphi_i = \sum_{i=3}^i \theta_i \forall i = 3, 4, 5, 6$ (3.4)
 $r_i,$ r_{ti}
 r_w , :

$$\mathbf{r}_1 = 0, \quad \mathbf{r}_i = \sum_{j=1}^{i-1} A_{jo} \widehat{\mathbf{s}}_j \quad \forall i = 2, 3, 4, 5, 6 \quad (3.5)$$

$$\mathbf{r}_w = \sum_{j=1}^6 A_{jo} \widehat{\mathbf{s}}_j \quad (3.6)$$

$$\mathbf{r}_{ii} = \mathbf{r}_i + A_{io} \widehat{\mathbf{t}}_i \quad (3.7)$$

: A_{jo}, A_{io} -

$A_{io} (i=1, \dots, 7)$

a L_i

, $A_{oi} = A_{io}^T$

(3.1)

$Ox_i y_i z_i$

$OXYZ$

T.3.1

Табела Т3.1 Трансформационе матрице математичког модела багера

A_{1o}	A_{2o}	$A_{io} \quad \forall A_i = 1, \dots, 7$
$\begin{vmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 & -\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \cos \varphi_i \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_i \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 \\ \cos \varphi_i \sin \varphi_2 & -\sin \varphi_i \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 \end{vmatrix}$

3.2.2.2. Кинематичке величине. -

$$L_i \quad \mathbf{v}_i \quad (3.2) \quad \boldsymbol{\omega}_i \quad \mathbf{w}_i \quad \boldsymbol{\varepsilon}_i$$

$$L_{i-1}, \quad L_i, \quad O_i$$

L_i

[71][72]:

$$\boldsymbol{\omega}_i = \boldsymbol{\omega}_{i-1} + \dot{\theta}_i \mathbf{e}_i \quad (3.8)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_i = \boldsymbol{\varepsilon}_{i-1} + \ddot{\theta}_i \mathbf{e}_i + (\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \dot{\theta}_i \mathbf{e}_i) \quad (3.9)$$

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_{i-1} + (\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times (\mathbf{s}_{i-1} - \mathbf{t}_{i-1})) + (\boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{t}_i) \quad (3.10)$$

$$\mathbf{w}_i = \mathbf{w}_{i-1} + (\boldsymbol{\varepsilon}_{i-1} \times (\mathbf{s}_{i-1} - \mathbf{t}_{i-1})) + \boldsymbol{\omega}_{i-1} \times (\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times (\mathbf{s}_{i-1} - \mathbf{t}_{i-1})) + (\boldsymbol{\varepsilon}_i \times \mathbf{t}_i) + \boldsymbol{\omega}_i \times (\boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{t}_i) \quad (3.11)$$

$$: \mathbf{e}_i = A_{io} \widehat{\mathbf{e}}_i, \quad \dot{\theta}_i, \ddot{\theta}_i -$$

$L_i \quad O_i$

3.2.2.3. Динамичке величине. -

L_i :

$$\mathbf{F}_i, \quad \text{Newton-} \quad (3.2) :$$

$$\mathbf{F}_i = -m_i \mathbf{w}_i \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{M}_i, \quad \text{Euler-} \\
 & : \\
 & \widehat{\mathbf{M}}_i = -\widehat{\mathbf{J}}_i \widehat{\boldsymbol{\varepsilon}}_i + (\widehat{\boldsymbol{\omega}}_i \times \widehat{\mathbf{J}}_i \widehat{\boldsymbol{\omega}}_i) \quad (3.13) \\
 & : \widehat{\mathbf{J}}_i - \\
 & , \quad \widehat{\boldsymbol{\omega}}_i = A_{oi} \boldsymbol{\omega}_i, \quad \widehat{\boldsymbol{\varepsilon}}_i = A_{oi} \boldsymbol{\varepsilon}_i \\
 & - \quad L_i \quad O_i x_i y_i z_i. \\
 & L_i, \\
 & , \quad :
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{F}_{ui} = \mathbf{F}_i + m_i \mathbf{g} \quad (3.14) \\
 & L_i
 \end{aligned}$$

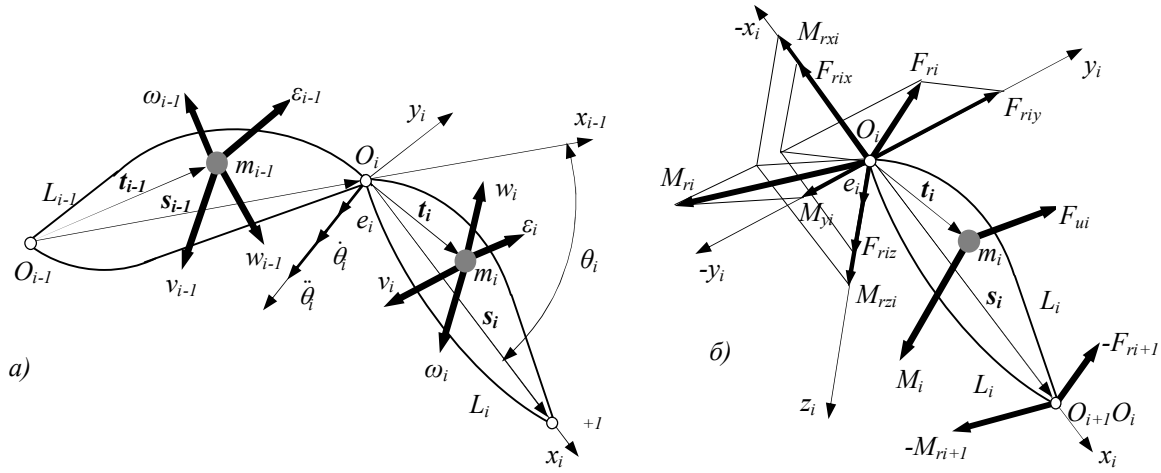
$$\begin{aligned}
 & : \\
 & \mathbf{M}_i = A_{io} \widehat{\mathbf{M}}_i \quad (3.15) \\
 & L_i \quad (3.2) \quad \mathbf{F}_{ui}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{M}_i \quad -\mathbf{F}_{ri+1}, -\mathbf{M}_{ri-1} \quad L_{i+1} \quad O_{i+1} \quad \mathbf{F}_{ri} \\
 & \mathbf{M}_{ri} \quad O_i \quad L_i \quad \mathbf{F}_{ri} \\
 & \mathbf{M}_{ri} \quad O_i :
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{F}_{ri} = \mathbf{F}_{ri+1} - \mathbf{F}_{ui} \quad (3.16)$$

$$\mathbf{M}_{ri} = \mathbf{M}_{ri+1} + (\mathbf{s}_i \times \mathbf{F}_{ri+1}) - (\mathbf{t}_i \times \mathbf{F}_{ui}) - \mathbf{M}_i \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned}
 & O_w, \quad \mathbf{W}, \quad : \\
 & \mathbf{F}_{n+1} = \mathbf{W}, \quad \mathbf{M}_{n+1} = 0 \quad (3.18)
 \end{aligned}$$



Сл.3.2 Члан кинематичког ланца багера: а) кинематичке, б) динамичке величине [70]

$$O_i \quad , \quad M_{pi} \quad , \quad N_{pi}$$

$$M_{pi} = \mathbf{e}_i \cdot \mathbf{M}_{ri} \quad (3.19)$$

$$N_{pi} = \dot{\theta}_i \cdot M_{pi} \quad (3.20)$$

3.2.3. Математички модели погонских механизма манипулатора

O_2 , -
 ,
 .
 :
 •
 ;
 •
 ;
 •
 ;
 •
 ;
 •
 ;
 ,
 ;
 C_i
 $O_{cbi}, x_{cbi}, y_{cbi}, z_{cbi}$ (.3.3):

$$C_i = \{ \hat{\mathbf{e}}_{ci}, d_{i1}, d_{i2}, m_{ci}, n_{ci}, \hat{\mathbf{a}}_i, \hat{\mathbf{b}}_i \} \quad \forall i = 3, \dots, 6 \quad (3.21)$$
 : $\hat{\mathbf{e}}_{ci}$ - O_{cbi}
 , d_{i1}, d_{i2} -
 ; m_{ci} - ; n_{ci} - p
 $\hat{\mathbf{a}}_i, \hat{\mathbf{b}}_i$ - ,
 (.3.3).

3.2.3.1. Геометријске величине. -

$(\quad) \quad \theta_{ci} \quad (3.3)$
 O_{cbi}
 θ_{ci}
 C_i
 $L_{i-1} \quad (i=3,4,6).$

$$\mathbf{r}_{cai} = \mathbf{r}_i + A_{io} \hat{\mathbf{a}}_i, \quad \mathbf{r}_{cbi} = \mathbf{r}_i + A_{io} \hat{\mathbf{b}}_i \quad \forall i = 3, 4, 6 \quad (3.22)$$

$$\mathbf{r}_{ca5} = \mathbf{r}_5 + A_{5o} \hat{\mathbf{a}}_5, \quad \mathbf{r}_{cb5} = \mathbf{r}_4 + A_{5o} \hat{\mathbf{b}}_5 \quad (3.23)$$

$$\mathbf{r}_{cti} = \mathbf{r}_{cbi} + A_{cio} \hat{\mathbf{t}}_{ci} \quad (3.24)$$

$\hat{\mathbf{t}}_{ci}$ -

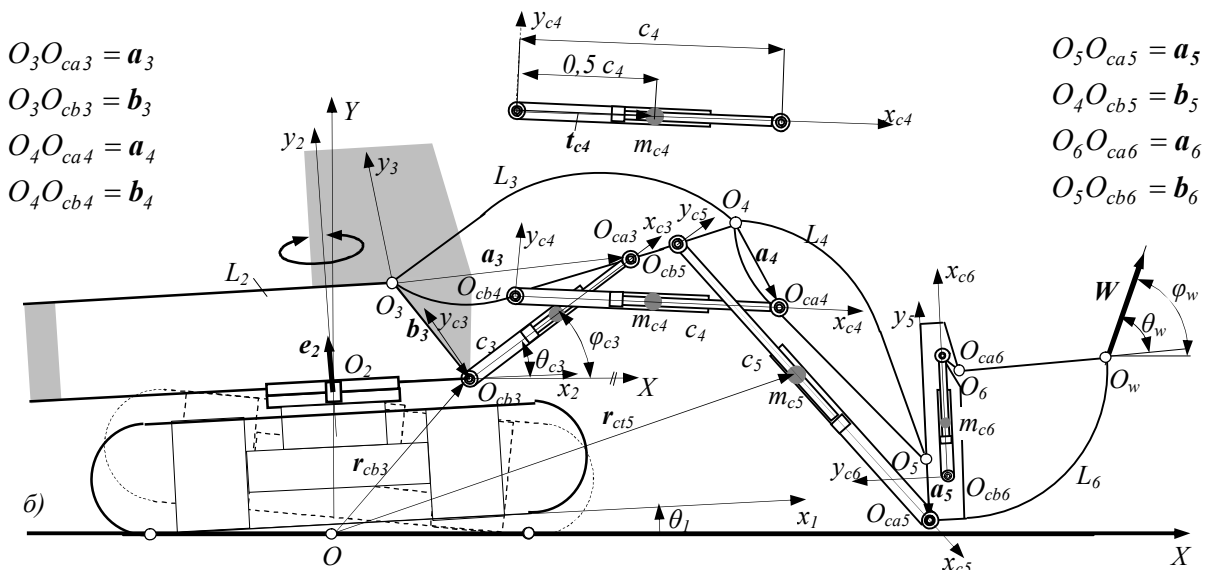
a

, A_{cio}

θ_{ci}

$A_{cio} (i=3, \dots, 6)$ е

(ТЗ.1).

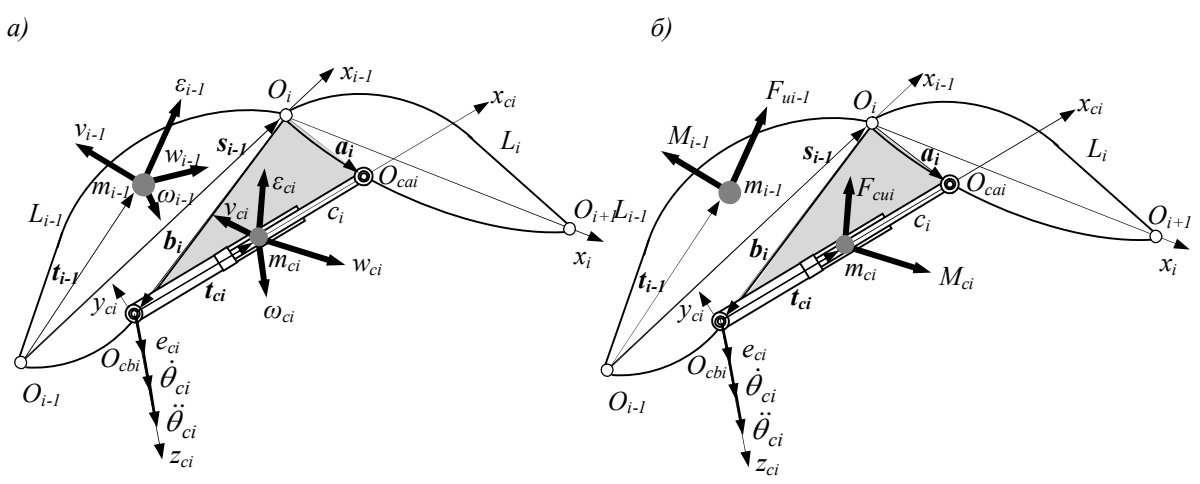


Сл.3.3. Математички модели погонских механизма манипулатора багера

3.2.3.2. Кинематичке и динамичке величине. -

$$\begin{aligned}
 & \varepsilon_{ci} = \dot{\omega}_{ci} \\
 & v_{ci} = \omega_{ci} \times r_{ci} \quad (3.4) \\
 & \omega_{ci} = \omega_{i-1} + \dot{\theta}_{ci} e_{ci} \quad \forall i = 3, 4, 6 \quad (3.25) \\
 & \varepsilon_{ci} = \varepsilon_{i-1} + \ddot{\theta}_{ci} e_{ci} + (\omega_{i-1} \times \dot{\theta}_{ci} e_{ci}) \quad (3.26) \\
 & v_{ci} = v_{i-1} + (\omega_{i-1} \times (r_{ti-1} - r_{cbi})) + (\omega_{ci} \times t_{ci}) \quad (3.27) \\
 & w_{ci} = w_{i-1} + (\varepsilon_{i-1} \times (r_{ti-1} - r_{cbi})) + \omega_{i-1} \times (\omega_{i-1} \times (r_{ti-1} - r_{cbi})) + (\varepsilon_{ci} \times t_{ci}) + \omega_{ci} \times (\omega_{ci} \times t_{ci}) \quad (3.28)
 \end{aligned}$$

$\dot{\theta}_{ci}, \ddot{\theta}_{ci}$ - C_i O_{cbi} .
 C_5
 3.25-3.28,
 L_3
 C_i : F_{ci}
 (3.4), M_{ci} F_{cui}
 C_i ,
 3.12 - 3.18.
 M_{ci} , \hat{J}_{ci}



Сл.3.4. Актуатор погонског механизма манипулатора багера: а) кинематичке, б) динамичке величине

3.2.3.3. Генералисане координате актуатора. -

$$(\theta_{ci}, \dot{\theta}_{ci}, \ddot{\theta}_{ci})$$

$$(\theta_i, \dot{\theta}_i, \ddot{\theta}_i)$$

$$\theta_i \quad L_i \quad c_i \quad (3.5):$$

$$c_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2 - 2a_i b_i \cos \gamma_i} \quad (3.29)$$

: a_i, b_i -

, γ_i -

θ_i

$$\gamma_i = \pi - (\theta_i + \gamma_{ai} + \gamma_{bi}) = \pi - \left(\theta_i + \arccos \frac{\hat{i}_i \cdot \hat{a}_i}{a_i} + \arccos \frac{\hat{i}_{i-1} \cdot \hat{b}_i}{b_i} \right) \quad (3.30)$$

θ_{ci}

:

$$\theta_{ci} = \varphi_{i-1} + \gamma_{bi} - \alpha_i = \varphi_{i-1} + \arccos \frac{\hat{i}_{i-1} \cdot \hat{b}_i}{b_i} - \arcsin \frac{a_i \sin \gamma_i}{c_i} \quad (3.31)$$

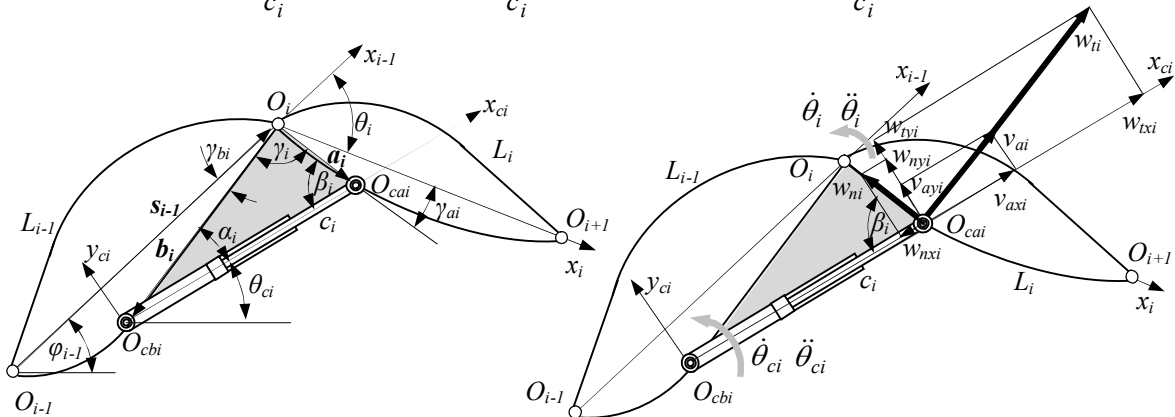
: φ_{i-1} -

$$\ddot{\theta}_{ci} \quad \dot{\theta}_{ci} \quad \ddot{\theta}_i \quad C_i \quad \dot{\theta}_i$$

$$\ddot{\theta}_i \quad L_i \quad (3.5):$$

$$\dot{\theta}_{ci} = \frac{v_{ayi}}{c_i} = \frac{v_{ai} \sin \beta_i}{c_i} = \frac{a_i \cdot \dot{\theta}_i \sin \beta_i}{c_i} = \frac{a_i \cdot b_i}{c_i^2} \cdot \dot{\theta}_i \sin \gamma_i \quad (3.32)$$

$$\ddot{\theta}_{ci} = \frac{w_{nyi} + w_{tyi}}{c_i} = \frac{w_{ni} \sin \beta_i + w_{ti} \cos \beta_i}{c_i} = \frac{a_i \cdot \ddot{\theta}_i \sin \beta_i + a_i \cdot \dot{\theta}_i \cos \beta_i}{c_i} \quad (3.33)$$



Сл.3.5. Актуатор погонског механизма манипулатора багера: а) геометријске, б) кинематичке величине

c_5

$$(O_4O_5O_{ca5}O_{cb5}) \quad (3.6),$$

$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{c} \dot{\theta}_5 \\ \ddot{\theta}_5 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \dot{\theta}_4 \\ \ddot{\theta}_4 \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} c_5 \\ c_5 \end{array} \right) \quad (c_5 = \text{const.}) \quad \theta_5, \\ & \dot{\theta}_5 \quad \ddot{\theta}_5 \quad \theta_4, \quad \dot{\theta}_4 \\ & \ddot{\theta}_4 \quad (3.6) [73]: \end{aligned}$$

$$\theta_5 = \gamma_{51} + \gamma_{52} - \frac{\pi}{2} = \arccos \frac{s_4^2 + l_5^2 - b_5^2}{2s_4l_5} + \arccos \frac{a_5^2 + l_5^2 - c_5^2}{2a_5l_5} - \frac{\pi}{2} \quad (3.34)$$

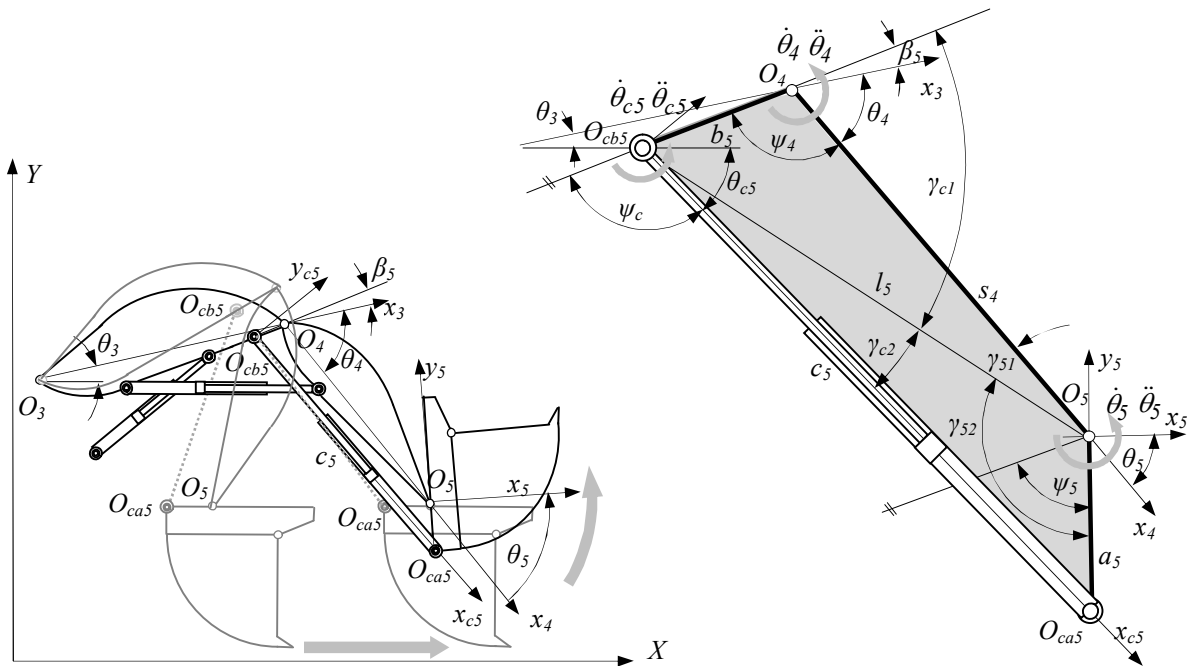
$$\dot{\theta}_5 = -\dot{\theta}_4 \frac{s_4 \sin(\psi_c - \psi_4)}{a_5 \sin(\psi_c - \psi_5)} \quad (3.35)$$

$$\ddot{\theta}_5 = \frac{-s_4 \ddot{\theta}_4 \sin(\psi_c - \psi_4) + s_4 \dot{\theta}_4^2 \cos(\psi_c - \psi_4) + a_5 \dot{\theta}_5^2 \cos(\psi_5 - \psi_c) - c_5 \dot{\theta}_{c5}^2}{a_5 \sin(\psi_c - \psi_5)} \quad (3.36)$$

: s_4 -

, b_5, a_5 -

, c_5 -



Сл.3.6. Актуатор погонског механизма кашике: геометријске и кинематичке величине

$$\dot{\theta}_{c5} - , l_5 = \sqrt{b_5^2 + s_4^2 - 2b_5s_4 \cos \psi_4} -$$

$O_5O_{cb5}, \psi_4, \psi_c, \psi_5 -$

:

$$\psi_4 = \pi - \theta_4 - \beta_5 \quad (3.37)$$

$$\psi_5 = \psi_4 - \pi + (\gamma_{51} + \gamma_{52}) = \theta_4 - \beta_5 + \left(\arccos \frac{s_4^2 + l_5^2 - b_5^2}{2s_4l_5} + \arccos \frac{a_5^2 + l_5^2 - c_5^2}{2a_5l_5} \right) \quad (3.38)$$

$$\psi_c = \pi - (\gamma_{c1} + \gamma_{c2}) = \pi - \left(\arccos \frac{s_4^2 + l_5^2 - b_5^2}{2s_4l_5} + \arccos \frac{c_5^2 + l_5^2 - a_5^2}{2c_5l_5} \right) \quad (3.39)$$

$(c_5 = \text{const.}),$

$$\theta_{c5}, \quad \dot{\theta}_{c5}, \quad \ddot{\theta}_{c5}$$

$$\theta_4, \quad \dot{\theta}_4$$

$\ddot{\theta}_4$, (.3.6):

$$\theta_{c5} = (\pi - \psi_c) - (\theta_3 + \beta_5); \quad (3.40)$$

$$\dot{\theta}_{c5} = -\dot{\theta}_4 \frac{s_4 \sin(\psi_5 - \psi_4)}{c_5 \sin(\psi_5 - \psi_c)} \quad (3.41)$$

$$\ddot{\theta}_{c5} = \frac{-s_4 \ddot{\theta}_4 \sin(\psi_5 - \psi_4) + s_4 \dot{\theta}_4^2 \cos(\psi_5 - \psi_4) + c_5 \dot{\theta}_{c5}^2 \cos(\psi_5 - \psi_c) - a_5 \dot{\theta}_{c5}^2}{c_5 \sin(\psi_5 - \psi_c)} \quad (3.42)$$

$$\theta_3, \quad \theta_4, \quad \theta_5,$$

c_5

:

$$c_5 = \sqrt{a_5^2 + l_5^2 - 2a_5l_5 \sin(\gamma_{51} - \theta_5)} \quad (3.43)$$

3.2.4. Оптерећење зглоба кретни механизам - обртна платформа

$$3.1 \quad 3.2 \quad \mathbf{F}_{02} \quad \mathbf{M}_{02} \quad O_2$$

(.3.1):

$$\mathbf{F}_{02} = \sum_{i=2}^7 m_i (\mathbf{w}_i + \mathbf{g}) + \sum_{i=3}^6 m_{ci} (\mathbf{w}_{ci} + \mathbf{g}) + \mathbf{W} \quad (3.44)$$

$$\mathbf{M}_{02} = \sum_{i=2}^7 m_i ((\mathbf{r}_{ii} - \mathbf{r}_2) \times (\mathbf{w}_i + \mathbf{g})) + \sum_{i=2}^7 \mathbf{M}_i + \sum_{i=3}^6 m_{ci} ((\mathbf{r}_{cii} - \mathbf{r}_2) \times (\mathbf{w}_{ci} + \mathbf{g})) + \sum_{i=3}^6 \mathbf{M}_{ci} + (\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_2) \times \mathbf{W} \quad (3.45)$$

O_2

-
:

$$\widehat{F}_{02x} = (A_{2o} \mathbf{F}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{i}}_2, \quad \widehat{F}_{02y} = (A_{2o} \mathbf{F}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{j}}_2, \quad \widehat{F}_{02z} = (A_{2o} \mathbf{F}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{k}}_2 \quad (3.46)$$

$$\widehat{M}_{02x} = (A_{2o} \mathbf{M}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{i}}_2, \quad \widehat{M}_{02y} = (A_{2o} \mathbf{M}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{j}}_2, \quad \widehat{M}_{02z} = (A_{2o} \mathbf{M}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{k}}_2 \quad (3.47)$$

: A_{2o} -

O_2

:)

3.2.5. Параметри и модели услова симулације

3.2.5.1. Параметри услова рада. -

$$U_o = \{\varphi_o, \mu_p, \mu_o\} \quad (3.48)$$

: φ_o - , μ_p - μ_o -

$$U_r = \{\varphi_m, \rho_m, k_r, k_w\} \quad (3.49)$$

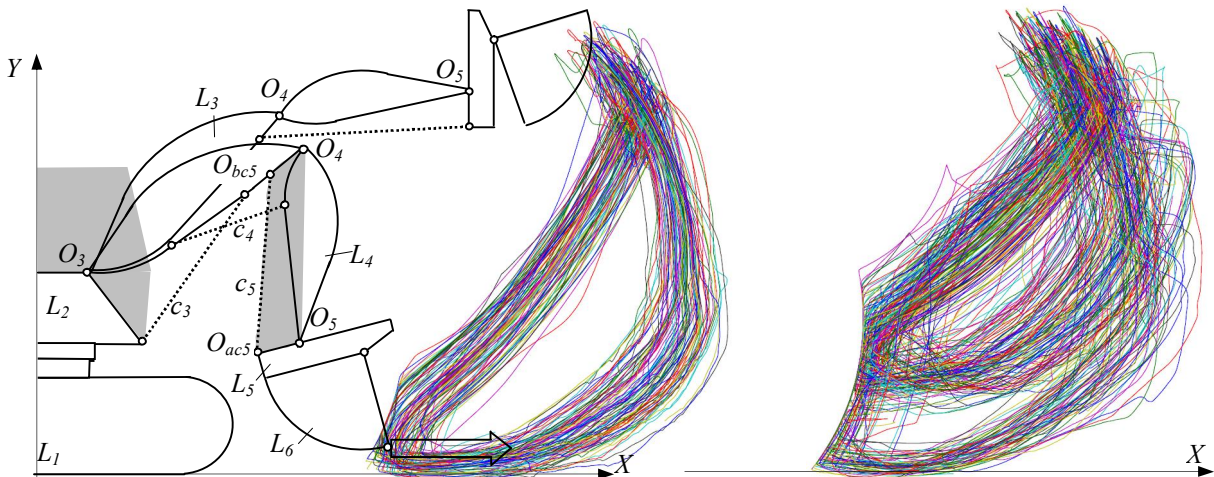
: φ_m - , ρ_m -
, k_r - , k_w -

3.2.5.2. Модел технологије рада. -

i L_i $ijk,$
 $j.$ $k,$ $k=1$
 $k=4$
 $(j=1)$ (Т3.2),
 $(j=2),$ $(j=3),$
 $(j=4)$ $(j=5)$ [74].
 c_3 (3.7) c_4 [75].
 $l_i,$ $t_j,$
 L_i

Табела Т3.2. Структура манипулационих задатака багера

	j				
	захватање $j=1$	пуњење $j=2$	пренос $j=3$	истовар $j=4$	повратак $j=5$
L_1					
L_2					
L_3					
L_4					
L_5					
L_6					



Сл.3.7 Путање врха кашике током манипулационог задатка багера са утоварним манипулатором [75]

3.2.5.3. Путања манипулационог задатка. -

O_w

(3.8,3.9):

$$I_d = \{x_{511}, y_{511}, \theta_{211}, x_{534}, y_{534}, \theta_{234}, x_{554}, y_{554}, \theta_{254}, E_5\} \quad (3.50)$$

: θ_{211} -

, x_{511}, y_{511} -

, θ_{234} -

, x_{534}, y_{534} -

, θ_{254} -

x_{554}, y_{554} -

, $E_5 = \{V, b_5, R_5, \alpha_r\}$ -

: V -

, b_5 -

, R_5 -

, α_r -

θ_{ijk}

θ_{311} ,

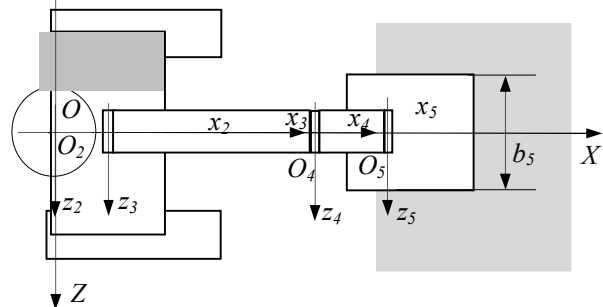
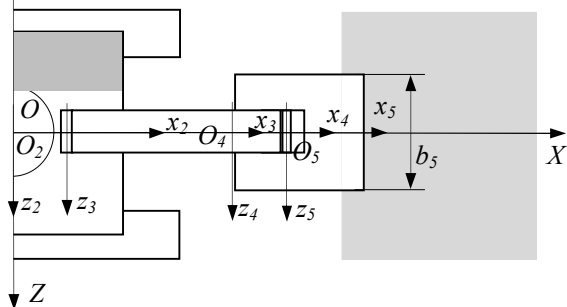
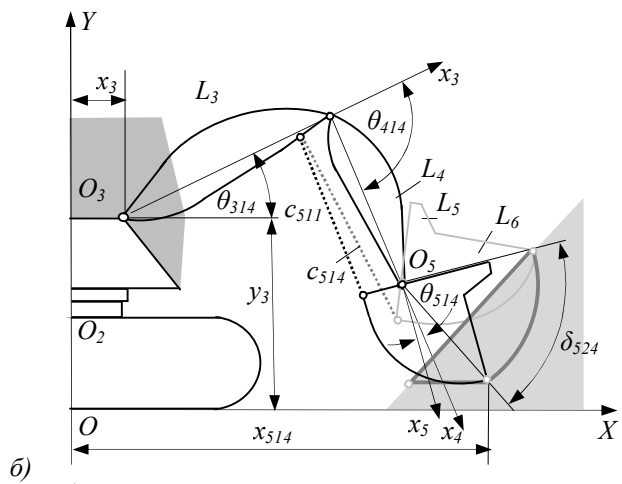
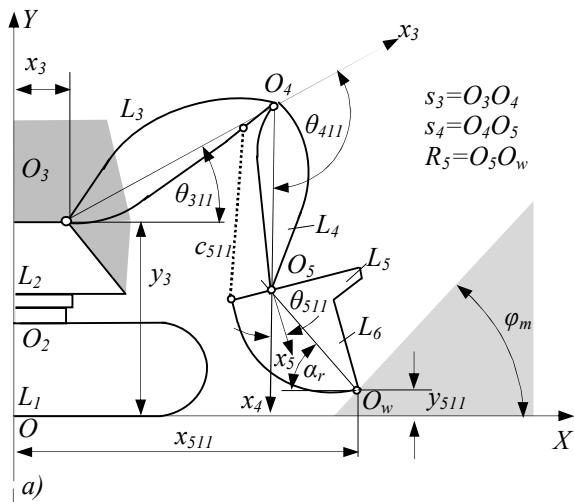
θ_{411} ,

θ_{511}

θ_{611}

($\theta_{211} = 0^\circ$)

(. 3.8a):



Сл.3.8. Путања манипулационог задатка багера: а) почетак б) крај хоризонталног захватања материјала

$$\theta_{311} = \arctg \frac{R_5 \sin \alpha_r + y_{511} - y_3}{-R_5 \cos \alpha_r + x_{511} - x_3} + \arccos \frac{s_3^2 + l_{351}^2 - s_4^2}{2 \cdot s_3 \cdot l_{351}} \quad (3.51)$$

$$\theta_{411} = -\pi + \arccos \frac{s_3^2 + s_4^2 - l_{351}^2}{2 \cdot s_3 \cdot s_4} \quad (3.52)$$

$$\theta_{511} = \theta_{611} = \arccos \frac{s_4^2 + l_{351}^2 - s_3^2}{2 \cdot s_4 \cdot l_{351}} - \arctg \frac{R_5 \sin \alpha_r + y_{511} - y_3}{-R_5 \cos \alpha_r + x_{511} - x_3} - \alpha_r \quad (3.53)$$

: R_5 - , α_r - , x_3, y_3 -
 O_3 - , s_3, s_4 -
 , l_{351} - O_3 O_5 -
 :

$$l_{351} = O_3O_5 = \sqrt{(-R_5 \cos \alpha_r + x_{511} - x_3)^2 + (R_5 \sin \alpha_r + y_{511} - y_3)^2} \quad (3.54)$$

Δx_{51} , $\theta_{311}, \theta_{411}, \theta_{511}$ -
 ($c_{511} = \text{const.}$) ,
 3.43, $\theta_{311}, \theta_{411}, \theta_{511}$ -

$\theta_{314}, \theta_{414} (\theta_{214} = 0^\circ)$ (.3.9) :

$$\theta_{314} = \arctg \frac{R_5 \sin \alpha_r + y_{511} - y_3}{-R_5 \cos \alpha_r + x_{511} + \Delta x_{51} - x_3} + \arccos \frac{s_3^2 + l_{352}^2 - s_4^2}{2 \cdot s_3 \cdot l_{352}} \quad (3.55)$$

$$\theta_{414} = -\pi + \arccos \frac{s_3^2 + s_4^2 - l_{352}^2}{2 \cdot s_3 \cdot s_4} \quad (3.56)$$

: Δx_{51} - a , l_{352} -
 O_3 O_5 :

$$l_{352} = O_3O_5 = \sqrt{(-R_5 \cos \alpha_r + x_{511} + \Delta x_{51} - x_3)^2 + (R_5 \sin \alpha_r + y_{511} - y_3)^2} \quad (3.57)$$

$\theta_{314}, \theta_{414}$, θ_{514} (.3.8) θ_{614}
 c_{514}
 oj 3.43.

$$\theta_{324}, \theta_{424}, \theta_{524} \quad (\theta_{224}=0^\circ) \quad (3.9):$$

$$\theta_{324} = \theta_{314}; \quad \theta_{424} = \theta_{414}; \quad \theta_{524} = \theta_{514} + \delta_{524} \quad (3.58)$$

: δ_{524} -

C_{524}

C_{524}

3.4.3,

$$\theta_{324}, \theta_{424}, \theta_{524}.$$

Δx_{514}

δ_{524}

3.59 3.60

(3.9):

)

:

$$k_p \cdot V = k_r \cdot b_5 \cdot (A_1 + A_2) =$$

$$k_r \cdot b_5 \left\{ \frac{1}{2} \cdot \Delta x_{514} \cdot R_5 [\sin \alpha_r + \sin(\delta_{524} - \alpha_r)] + R_5^2 \left[\frac{\delta_{524}}{2} - \sin \frac{\delta_{524}}{2} \cdot \cos \frac{\delta_{524}}{2} \right] \right\} \quad (3.59)$$

)

$\Delta O_{w1}O_{w2}O_{w3}$

φ_m :

$$\frac{\Delta x_{514}}{\sin \left[\frac{\pi - \delta_{524}}{2} - (\varphi_m - \alpha_r) \right]} = \frac{2 \cdot R_5 \sin \frac{\delta_{524}}{2}}{\sin \varphi_m} \quad (3.60)$$

: V -

[76], b_5 -

, k_p -

, k_r -

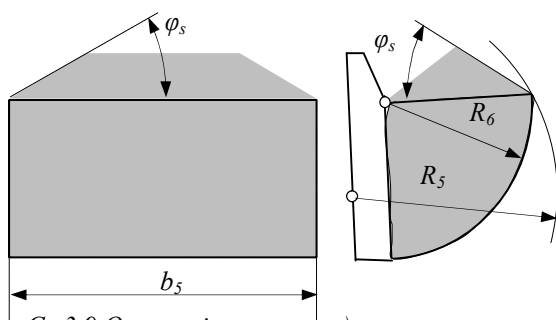
, A_1, A_2 -

$\Delta O_{w1}O_{w2}O_{w3}$

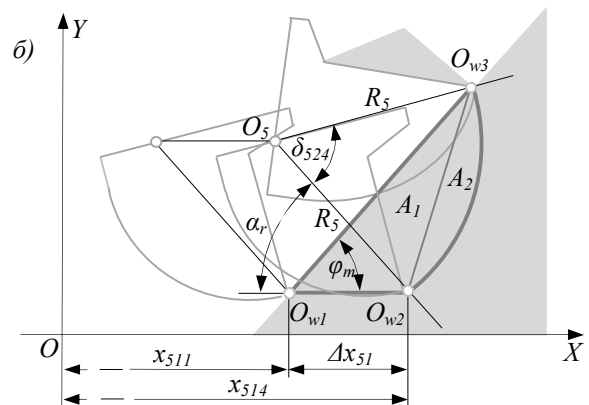
$O_{w2}O_{w3}$

(3.9).

a)



b)



Сл.3.9 Операција копања: а) запремина кашике дефинисана стандардом [66], б) пуњење кашике

$$(c_{524} = \text{const.})$$

$$\theta_{334}, \theta_{434}, \theta_{534}, \theta_{634}, (\theta_{234} > 0^\circ), \quad (3.10)$$

$$\theta_{334} = \arctg \frac{y_{534} + l_{5y} - y_3}{z_{534} - l_{5x} - x_3} + \arccos \frac{(s_3^2 + l_{353}^2 - s_4^2)}{2 \cdot s_3 \cdot l_{353}} \quad (3.61)$$

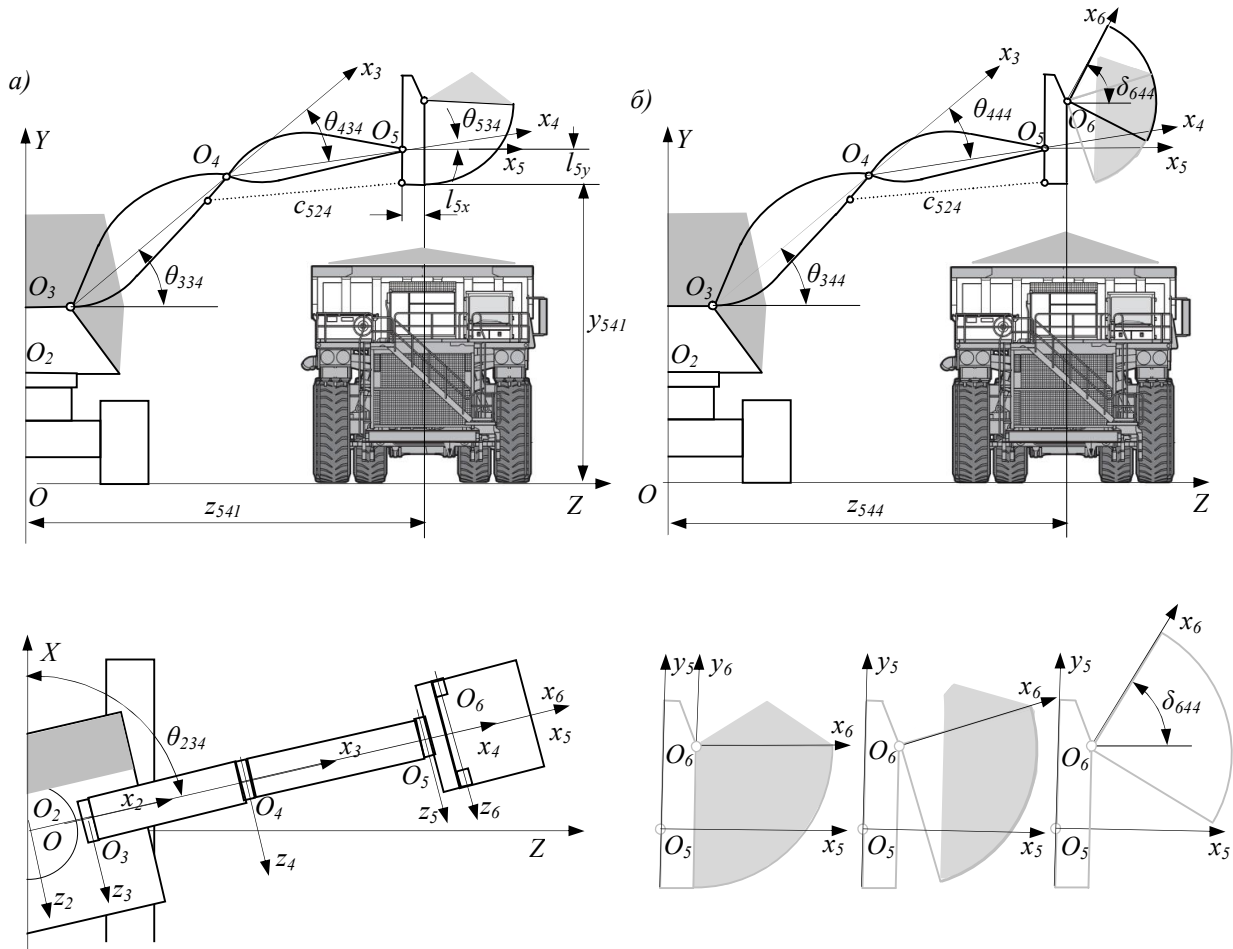
$$\theta_{434} = -\pi + \arccos \frac{(s_3^2 + s_4^2 - l_{353}^2)}{2 \cdot s_3 \cdot s_4} \quad (3.62)$$

: l_{5x}, l_{5y} -

$O_3 O_5$

, l_{353} -

$$l_{353} = O_3 O_5 = \sqrt{(z_{541} - l_{5x} - x_3)^2 + (y_{541} + l_{5y} - y_3)^2} \quad (3.63)$$



Сл.3.10. Путања манипулационог задатка багера: а) крај преноса, б) истовар материјала

θ_{534} (.3.10) θ_{634}
 $\theta_{334}, \theta_{434}$ c_{524}
 3.43.
 δ_{644}
 $\theta_{444}, \theta_{544}$ $\theta_{644},$ $(\theta_{234} > 0^\circ),$ $\theta_{344},$
 (.3.9):

$$\theta_{344} = \theta_{334}; \theta_{444} = \theta_{434}; \theta_{544} = \theta_{534}; \theta_{644} = \theta_{544} + \delta_{644} \quad (3.64)$$

$\theta_{352}, \theta_{452}, \theta_{552}, \theta_{652}$:
 $\theta_{354} = \theta_{311}; \theta_{454} = \theta_{411}; \theta_{554} = \theta_{511}; \theta_{664} = \theta_{611} \quad (3.65)$

L_i j ,
 $\delta_{ij} = \theta_{ij4} - \theta_{ij1} \quad (3.66)$
 δ_{ij} - () i $j, \theta_{ij1}, \theta_{ij4}$ -
 L_i $(k=1)$ $(k=4)$ j .

3.2.5.3. Време трајања операција. -

j .

() , ,
 [77][78],
 $\dot{\theta}_{ij}$ (.3.3).
 L_i , j ,
 (.3.3):

Табела Т3.3 Промена угаоних брзина и убрзања чланова кинематичког ланца $L_i \ i=2,3,4,6$

	$\dot{\theta}_{ij}$	$\ddot{\theta}_{ij}$
$t_{ij1} \leq t \leq t_{ij2}$	$\frac{\dot{\theta}_{ijm}}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{t - t_{ij1}}{t_{ij2} - t_{ij1}} \pi \right) \right]$	$\frac{\dot{\theta}_{ijm}}{2} \frac{\pi}{t_{ij2} - t_{ij1}} \sin \left(\frac{t - t_{ij1}}{t_{ij2} - t_{ij1}} \pi \right)$
$t_{ij2} \leq t \leq t_{ij3}$	$\dot{\theta}_{ijm}$	0
$t_{ij3} \leq t \leq t_{ij4}$	$\frac{\dot{\theta}_{ijm}}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{t - t_{ij3}}{t_{ij4} - t_{ij3}} \pi \right) \right]$	$-\frac{\dot{\theta}_{ijm}}{2} \frac{\pi}{t_{ij4} - t_{ij3}} \sin \left(\frac{t - t_{ij3}}{t_{ij4} - t_{ij3}} \pi \right)$

$$I_t = \{t_{ij1}, t_{ij2}, t_{ij3}, t_{ij4}\} \quad (3.67)$$

: t_{ij1} - , t_{ij2} - , t_{ij3} -

t_{ij4} -

$$\dot{\theta}_{ijm} = \frac{2\delta_{ij}}{(t_{ij3} + t_{ij4}) - (t_{ij1} + t_{ij2})} \quad (3.68)$$

(.3.3) :

$\dot{\theta}_{ij}$

$\ddot{\theta}_{ij}$

j

3.2.5.4. Модели отпора копања. -

() -

W , :

$$W = W_x i + W_y j + W_z k \quad (3.69)$$

: W_x W_y -

Ox Oy

$$: W_{xy} = (W_x^2 + W_y^2)^{0.5}$$

, W_z -

Oz .

:)

$$(3.11)$$

W_{xy}

z_w ,)

θ_w

,)

$$W_{z1} \quad W_{z2}$$

$$W_z = W_{z1} - W_{z2}$$

[69][74][79]:

$$W_{xy} = k_k \cdot b_5 \cdot h \cdot \xi_u \cdot \xi_k \quad (3.70)$$

: k_k -

, b_5 -

, h -

, ξ_k -

, ξ_u -

OXY

h

(3.11):

$$h = \sqrt{(x_w - x_A)^2 + (y_w - y_A)^2} \quad (3.71)$$

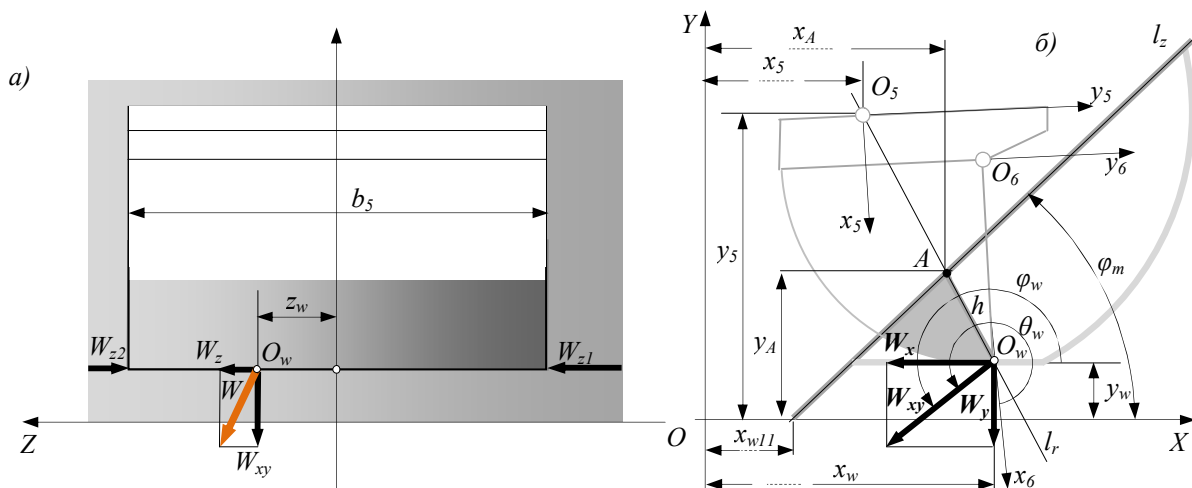
: x_w, y_w -

, x_A, y_A -

A

l_r

l_z



Сл.3.11. Модел отпора копања: а) компоненте силе отпора копања, б) висина одреска

$$l_r : y = y_5 + \frac{y_w - y_5}{x_w - x_5}(x - x_5); \quad l_z : y = y_{511} + tg\varphi_m(x - x_{511}) \quad (3.72)$$

$$\xi_u = (1 + 3f_u) + f_u \sin\left(\frac{\pi}{4} \frac{t}{t_{524}}\right) \cdot \sin\left(n_u \pi \frac{t}{t_{524}}\right), \quad \forall t \leq t_{524} \quad (3.73)$$

$$\xi_k = \left[1 - \left(\frac{t}{t_{524}}\right)^2\right]^{0,5} \quad \forall t \leq t_{524} \quad (3.74)$$

$$\theta_w = \theta_{wp} + \frac{t}{t_{524}}(\theta_{wk} - \theta_{wp}); \quad \varphi_w = \theta_w + \sum_{i=3}^6 \theta_i \quad (3.75)$$

$$W_z = \left(\mu_o \frac{mg \cdot l_l}{4} \frac{h}{h_{max}} + W_x \cdot z_w\right) \frac{l}{x_w} \quad (3.76)$$

m - , l_1 - ,
 h_{max} - , z_w -

3.2.5.5. Модели предмета рада.-

, : m_7
 e t_7
 m_7

R_6 b_5 (.3.12).

A_{71} A_{72} (.3.12)

A_{71}

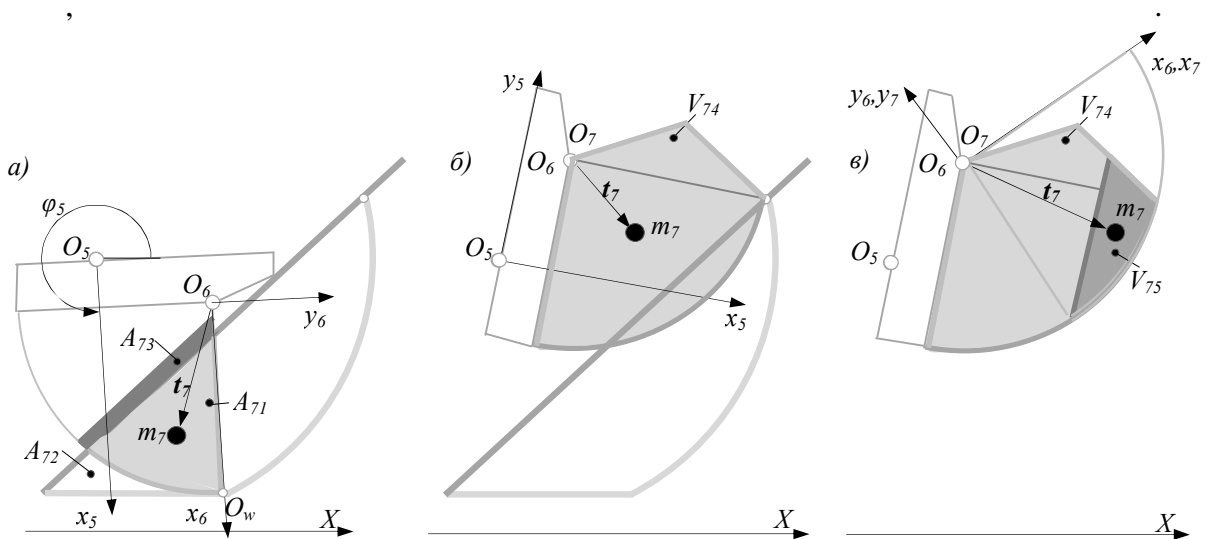
A_{72}

A_{73}

[80].

(.3.12), V_{75}

V_{74}



Сл.3.12. Запремина, маса и положај средишта масе материјала :а) у кашици при операцији захватања, б) пуне кашике и в) у кашици при операцији пражњења

3.2.6 Програм за нумеричку симулацију багера

е а а а а а о а, , (.3.13)

о о

е а а а а а о а, , :

$$U = \{L_i, C_i, U_o, U_r, I_d, I_t\} \quad (3.77)$$

: L_i - а а е а о а е а о а а а е а, C_i - а а е о о

е а а а а а о а а е а, U_o, U_r -

, I_d - , I_t -

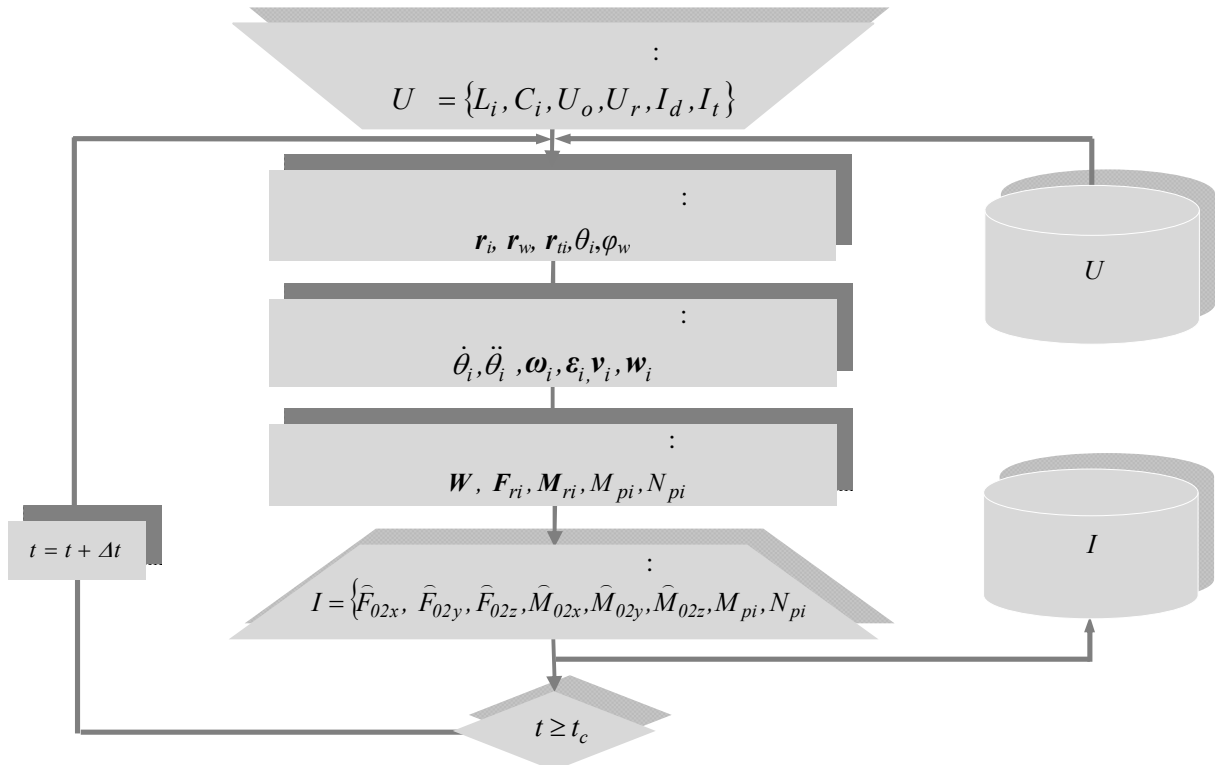
.

, а

Δt , t -

$(r_b, r_w, r_{ib}, \theta_i, \varphi_w)$, $(\dot{\theta}_i, \ddot{\theta}_i, \omega_i, \varepsilon_i, v_i, w_i)$

$(W, F_{ri}, M_{ri}, M_{pi}, N_{pi})$



Сл.3.13 Алгоритам програма за динамичку симулацију багера са утоварним манипулатором

$$I = \{\widehat{F}_{02x}, \widehat{F}_{02y}, \widehat{F}_{02z}, \widehat{M}_{02x}, \widehat{M}_{02y}, \widehat{M}_{02z}, M_{p2}, N_{p2}\} \quad (3.78)$$

$\widehat{F}_{02x}, \widehat{F}_{02y}, \widehat{F}_{02z}, \widehat{M}_{02x}, \widehat{M}_{02y}, \widehat{M}_{02z}$ - O_2
 M_{p2}, N_{p2} -

3.2.7 Пример нумеричке анализе

A B , (, 2- 8)

3.4).

c_3, c_4, c_5, c_6

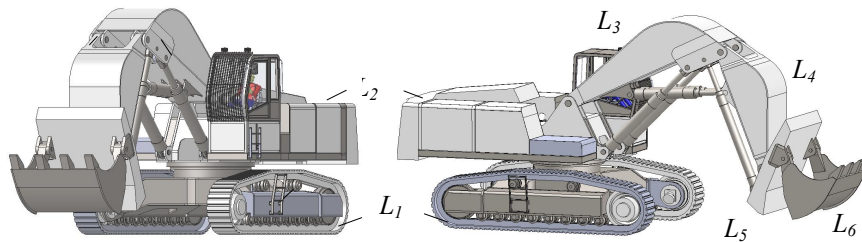
3D *SolidWorks* (

1- 8). 3D

Liebherr R974C Litronic [81].

Табела Т3.4 Могуће варијанте чланова кинематичког ланца багера

	е			а е а а		ρ [kg/m ³]	m [kg]
	L_1 [mm]	B_1 [mm]	b_1 [mm]	V [m ³]	b_5 [mm]		
A	4770	3600	500	4,4	2300	2200	90000
B	5035	3600	600	6,5	3150	1650	102000



Сл. 3.14. Развијени 3D модел багера **A** и **B** одговара физичком моделу хидрауличког багера гусеничара Liebherr R974C Litronic [81]

3D

(9- 12).

(. 3.15, .3.5).

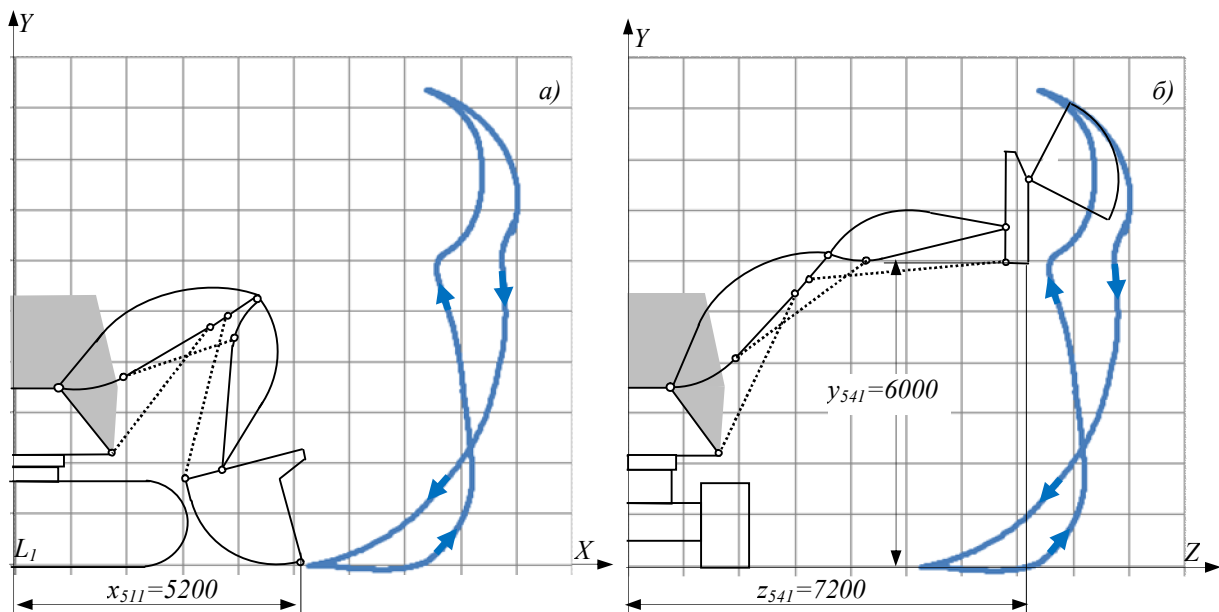
:)

$\theta_{11}=0^\circ$;)

(3.3).

Табела Т3.5 Параметри услова рада и задате спољашње координате путање манипулационог задатка

		A	B
φ_0	°	0	
k_r	-	1,1	1,0
k_p	-	1,27	
θ_{211}	°	0	
x_{511}	mm	5200	
y_{511}	mm	0	
θ_{214}	°	90	
z_{541}	mm	7200	
y_{541}	mm	6000	



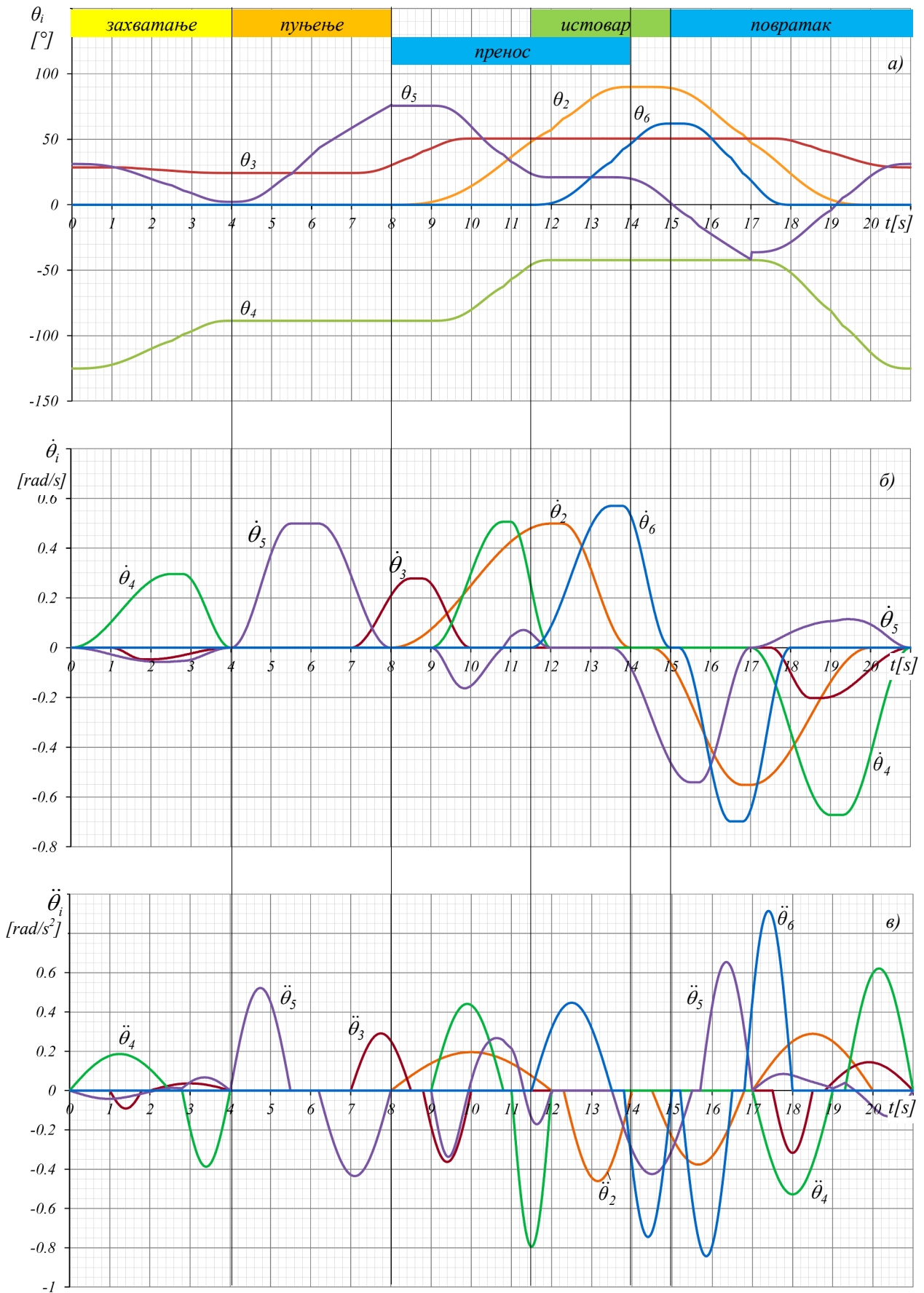
Сл. 3.15. Спољашње координате манипулационог задатка багера у равни манипулатора: а) на почетку операције хватања, б) на почетку операције истовара

Liebherr R974C Litronic

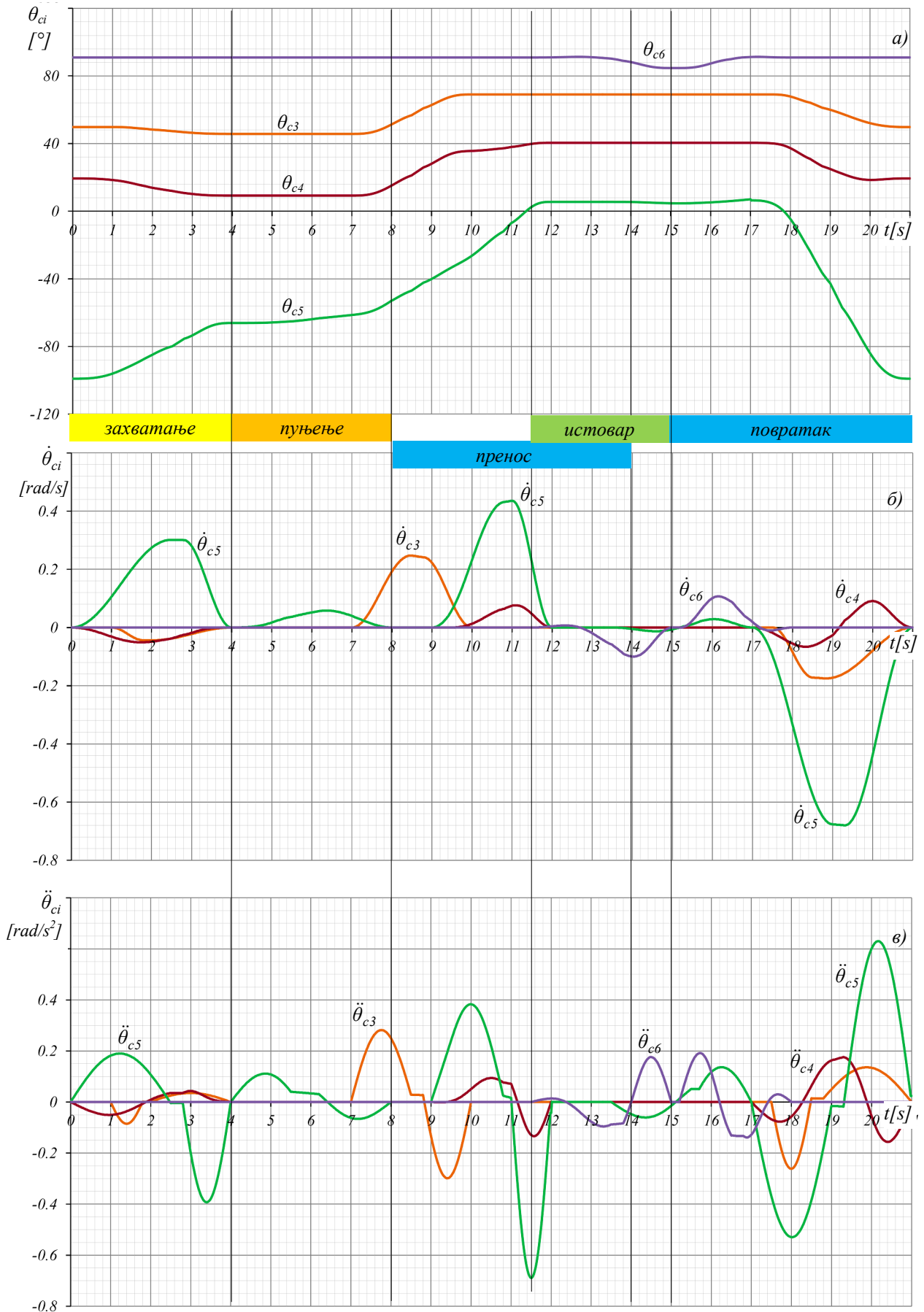
[82].

3.2.7.1. Кинематичка анализа. -

$\theta_i (i=2, \dots, 6)$ (.3.16),
 $\dot{\theta}_i$ (.3.16) $\ddot{\theta}_i$ (.3.16)
 (.3.16),
 $4s$
 $c_5 = const.$,
 $8s$
 $11,5s$,
 $14s$,
 (.3.15)
 θ_{ci}
 $(i=3, \dots, 6)$ (.3.17), $\dot{\theta}_{ci}$ (.3.17) $\ddot{\theta}_{ci}$ (.3.17)
 ()
 (.3.17) (.3.16)



Сл.3.16 Кинематичке величине: а) релативни углови положаја, б) угаоне брзине и в) угаона убрзања платформе L_2 , стреле L_3 , руке L_4 , плоче L_5 и чељусти L_6 кашике кинематичког ланца модела багера **A** и **B**



Сл.3.17 Кинематичке величине: а) релативни углови положаја, б) угаоне брзине и в) угаона убрзања хидроцилиндара стреле c_3 , руке c_4 , плоче c_5 и чељусту c_6 кашике модела багера А и В

3.2.7.2. Анализа силе отпора копања. -

3.2.5.4 (3.69 3.74).

A B

(W_{xy}) -

(W_z)

(3.6).

($\theta_{11}=0^\circ$)

W_{xy} (3.18)

W_{sm}, W_{pm}

:

(W_{sm})

(W_{pm})

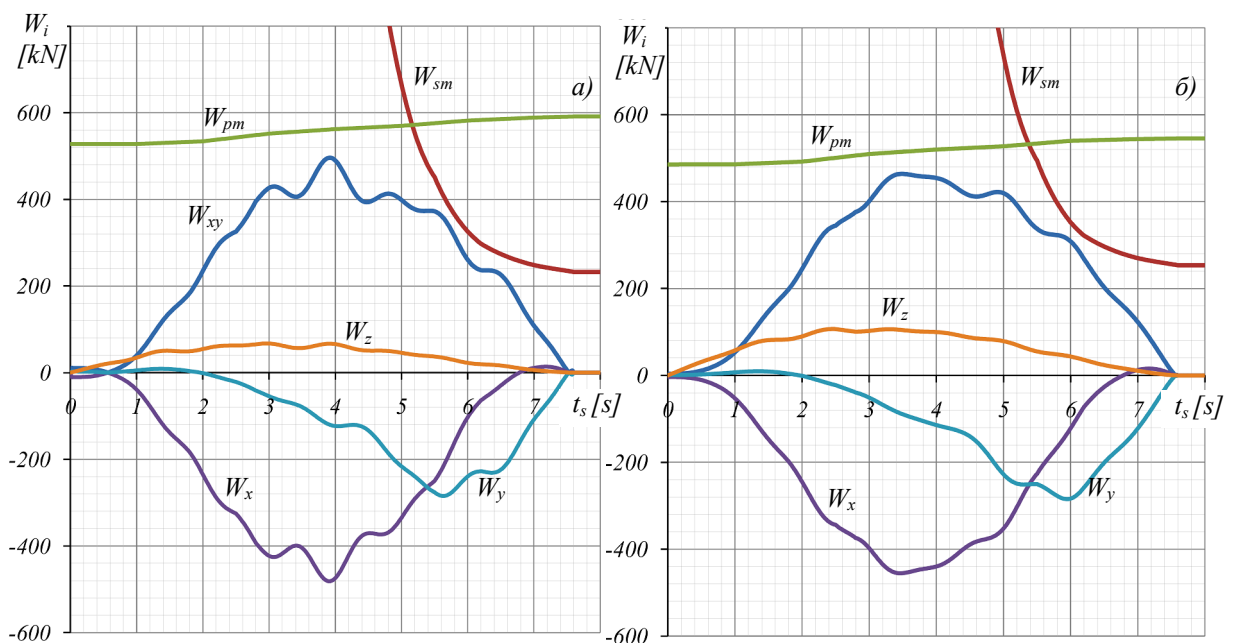
,

4.3.1.3

(4.28 4.32).

Табела Т3.6 Карактеристике материјала ископа и начина управљања кретањем кашике при копању

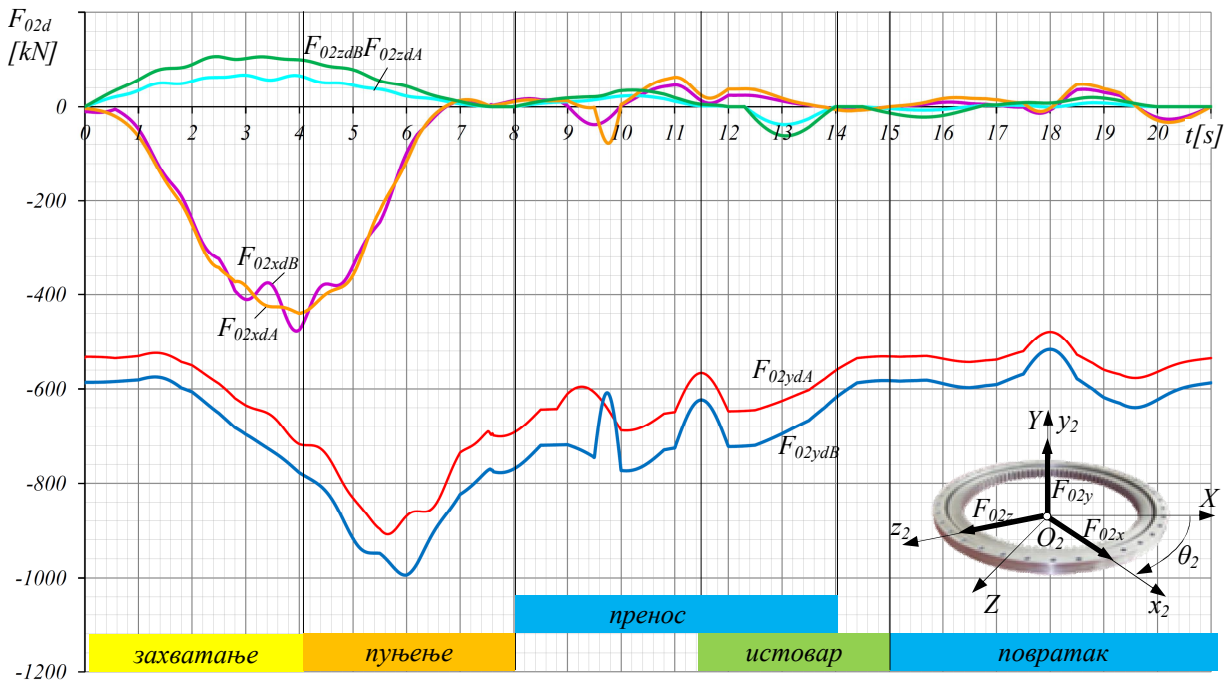
		A	B
K	k_k	kN/m^2	165 320
	f_k	-	0,08 0,03
	n_u	-	2 3
	θ_{wp}	$^\circ$	220 220
	θ_{wk}	$^\circ$	270 270
	μ_0	-	0,6 0,6
	φ_m	$^\circ$	40 45
	z_w	m	$-b_s/3$ $-b_s/3$



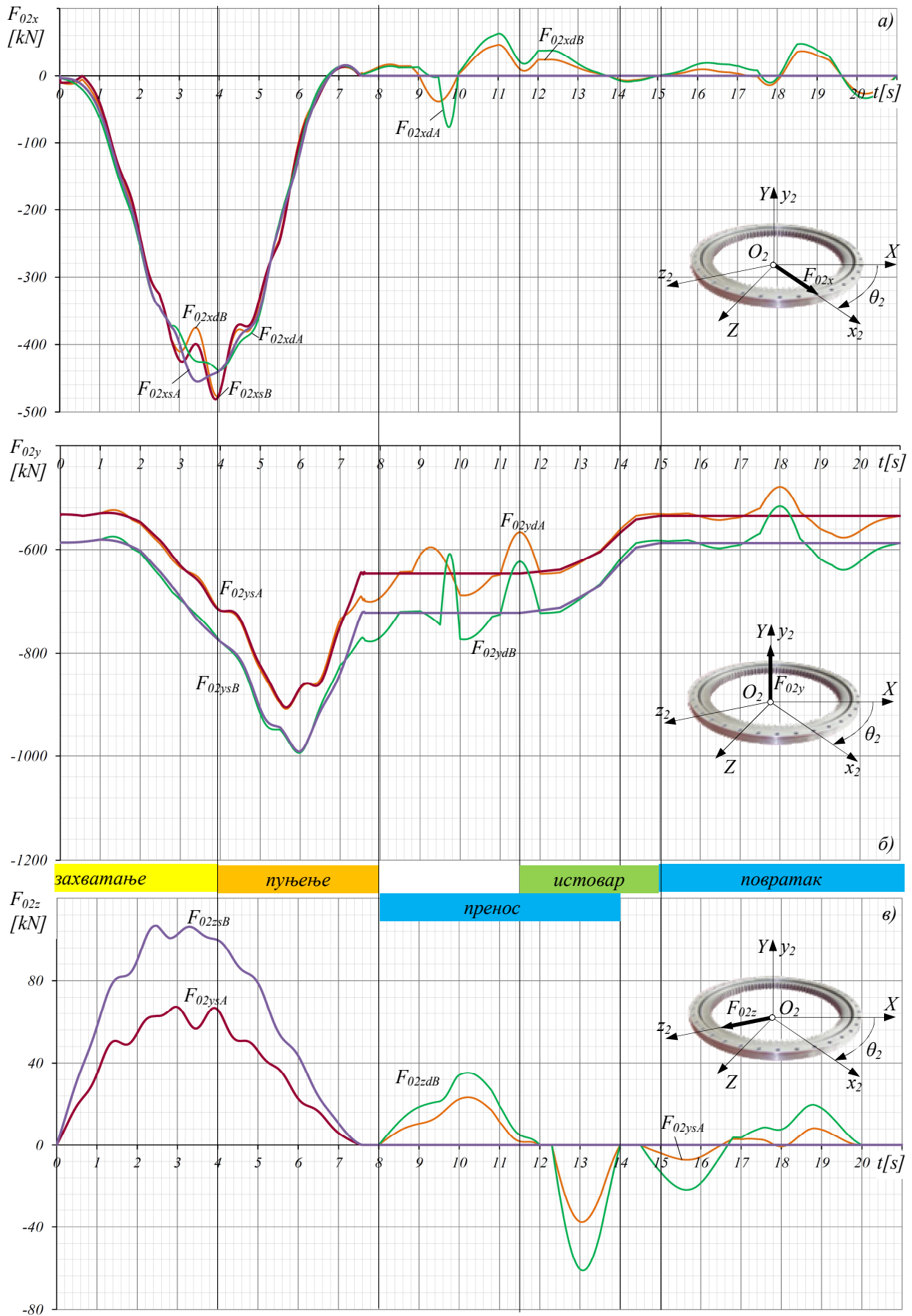
Сл. 3.18 Компоненте силе отпора копања: нормалне W_x, W_y, W_{xy} и колинеарне W_z у односу на резну ивицу кашике и које дозвољава стабилност багера W_{sm}, W_{pm} : а) модела багера **A**, б) модела багера **B**

3.2.7.3. Анализа оптерећења зглоба обртне платформе. -

$(3.19), (3.20)$ $(3.21), (3.22)$
 O_2
 $A, B,$
 $O_2 (3.19),$
 $F_{02xA}, F_{02xB}, F_{02zA}, F_{02zB}$ O_2
 O_{2x2}, O_{2z2}
 F_{02yA}, F_{02yB} O_{2y2}
 $B.$ $F_{02xd}, F_{02yd}, F_{02zd}$ (3.20)
 $F_{02xs}, F_{02ys}, F_{02zs},$
 O_2
 $F_{02yA},$
 F_{02yB} F_{02zA}, F_{02zB} O_2



Сл. 3.19 Компоненте динамичких сила $F_{02xd}, F_{02yd}, F_{02zd}$ оптерећења зглоба O_2 обртне платформе модела багера A и B



Сл. 3.20 Компоненте статичких F_{02xs} , F_{02ys} , F_{02zs} и динамичких F_{02xd} , F_{02yd} , F_{02zd} сила оптерећења O_2 обртне платформе модела багера **A** и **B** за локалне координатне осе платформе: а) O_2x_2 , б) O_2y_2 , в) O_2z_2

(3.21)

O_2

M_{02zA} M_{02zB} $O_2,$

A $B,$ O_{2z2}

M_{02zA}

M_{02zB}

B. A $B,$

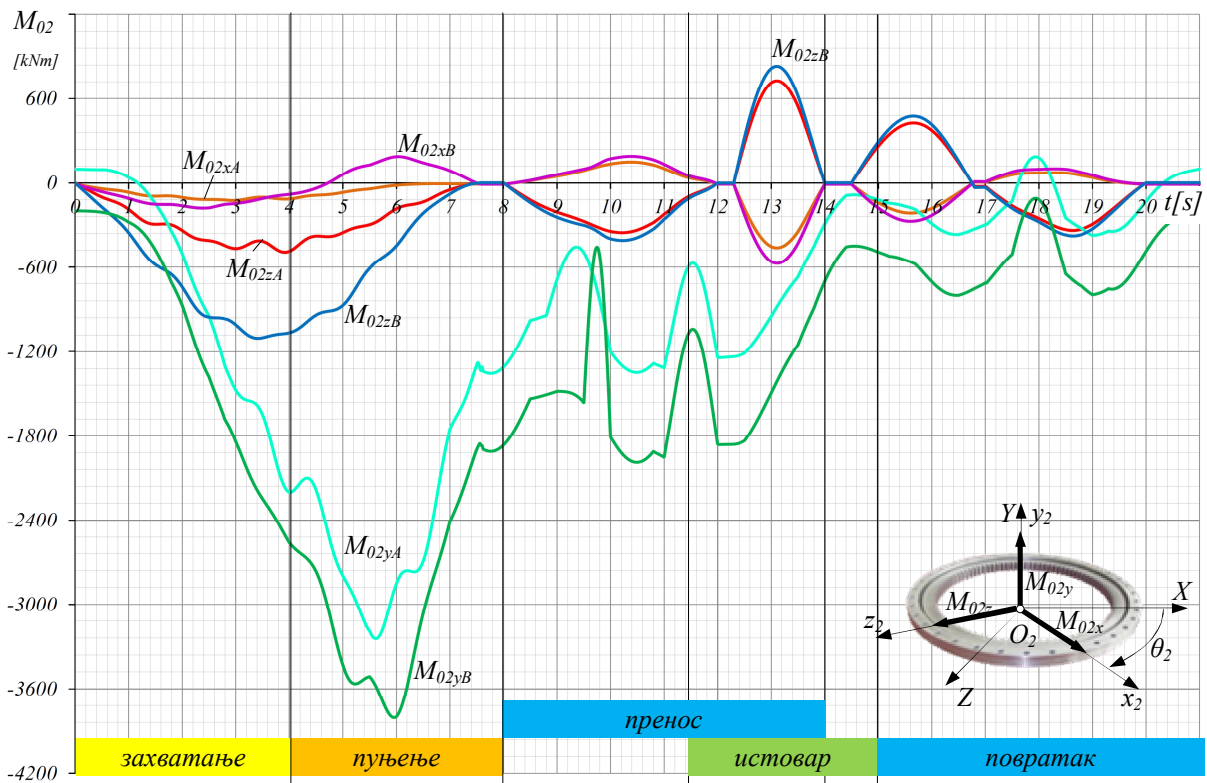
$M_{02xd}, M_{02yd}, M_{02zd}$ (3.22)

O_2

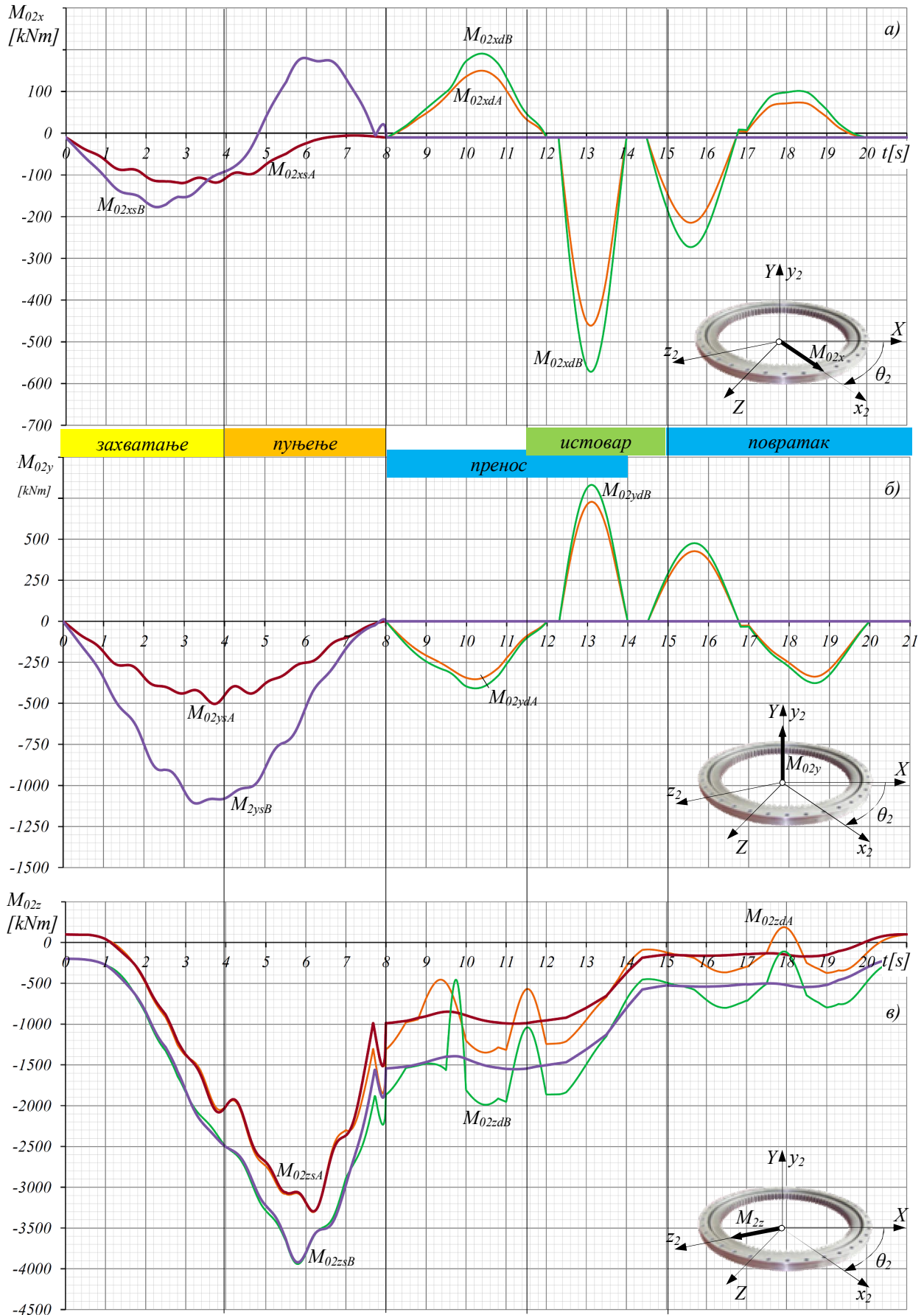
$M_{02xs}, M_{02ys}, M_{02zs}$

O_2

B



Сл.3.21 Компоненте динамичких момената M_{02x} , M_{02y} , M_{02z} оптерећења аксијалног лежсај обртне платформе модела багера A и B



Сл.3.22 Компоненте статичких M_{02xs} , M_{02ys} , M_{02zs} и динамичких M_{02xd} , M_{02yd} , M_{02zd} момената оптерећења зглоба O_2 модела багера А и В за локалне координатне осе платформе: а) O_2x_2 , б) O_2y_2 , в) O_2z_2

O_2

$$F_{02yg} \quad (.3.23)$$

$$F_{02xw}, F_{02yw}, F_{02zw}$$

O_2

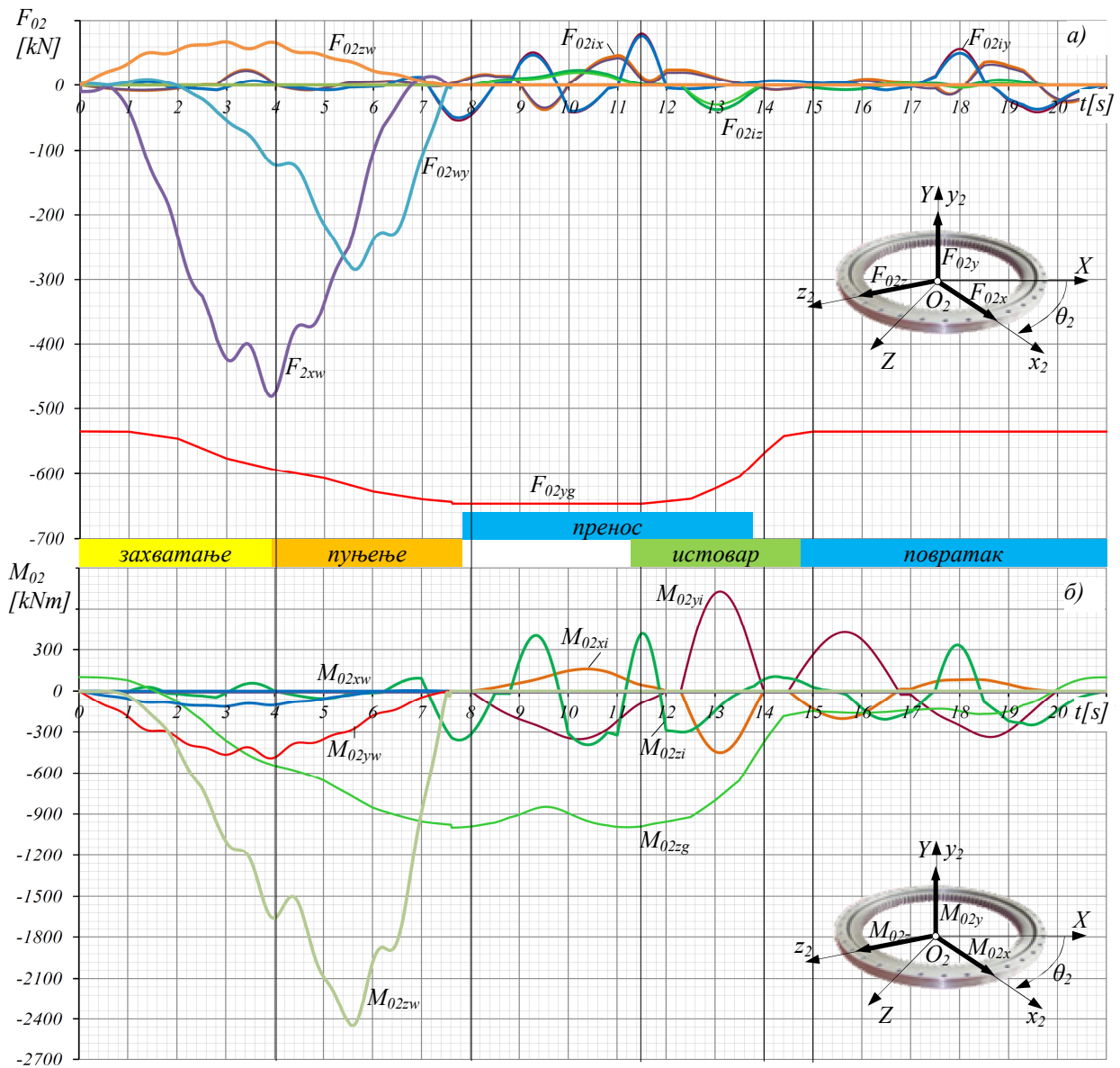
$$M_{02zw} \quad (.3.23)$$

W_{xy}

O_2

F_{02yi}

M_{02yi}



Сл.3.23 Промена компоната оптерећења: а) сила, б) момената зглоба O_2 модела багера А при деловању отпора копања (F_{02w}, M_{02w}), гравитационих (F_{02g}, M_{02g}) и инерцијалних оптерећења (F_{02i}, M_{02i})

(.3.24)

(.3.24),

O_2

O_2

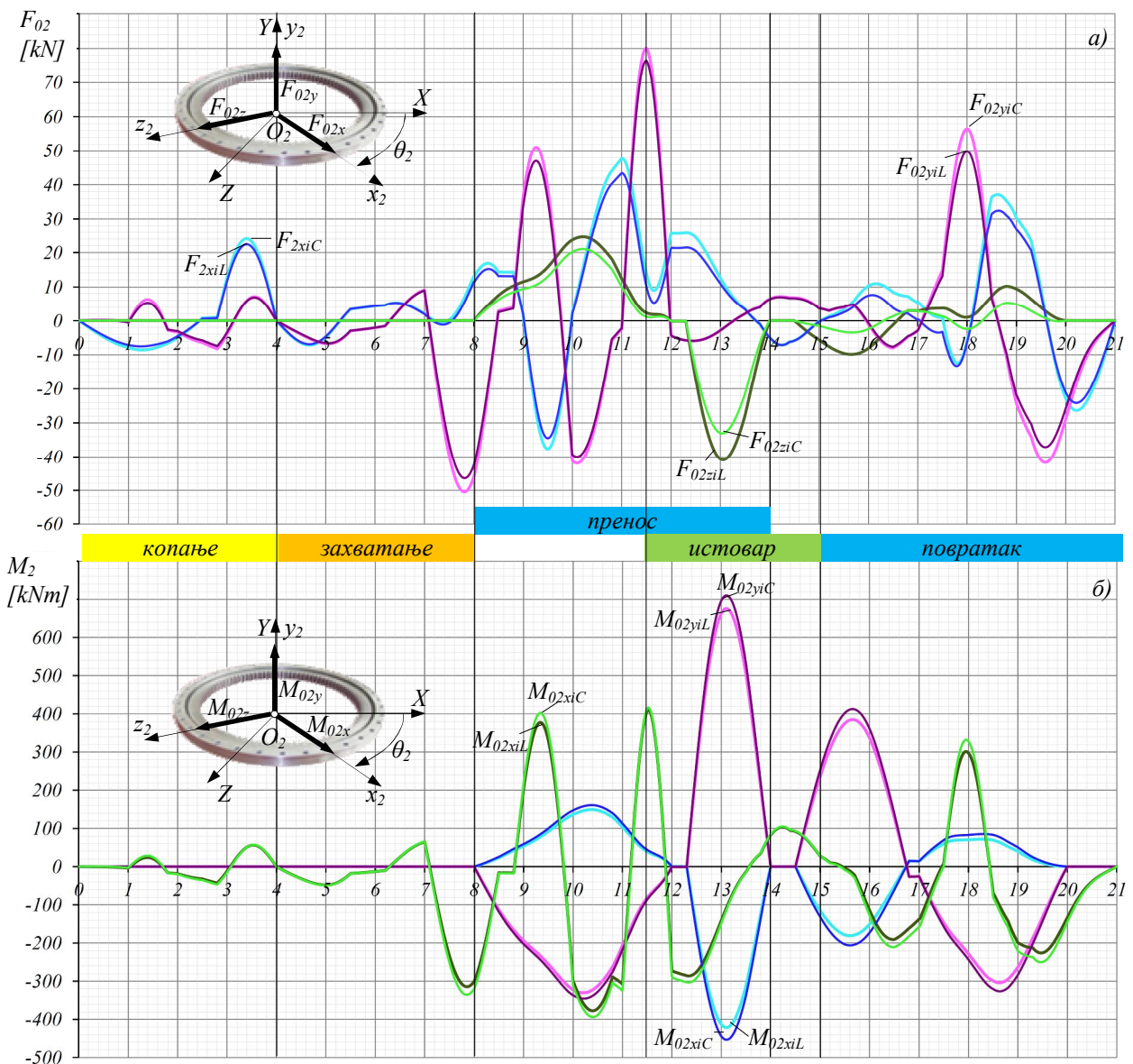
(F_{02iC}, M_{02iC}) (.3.24)

$(F_{02iL},$

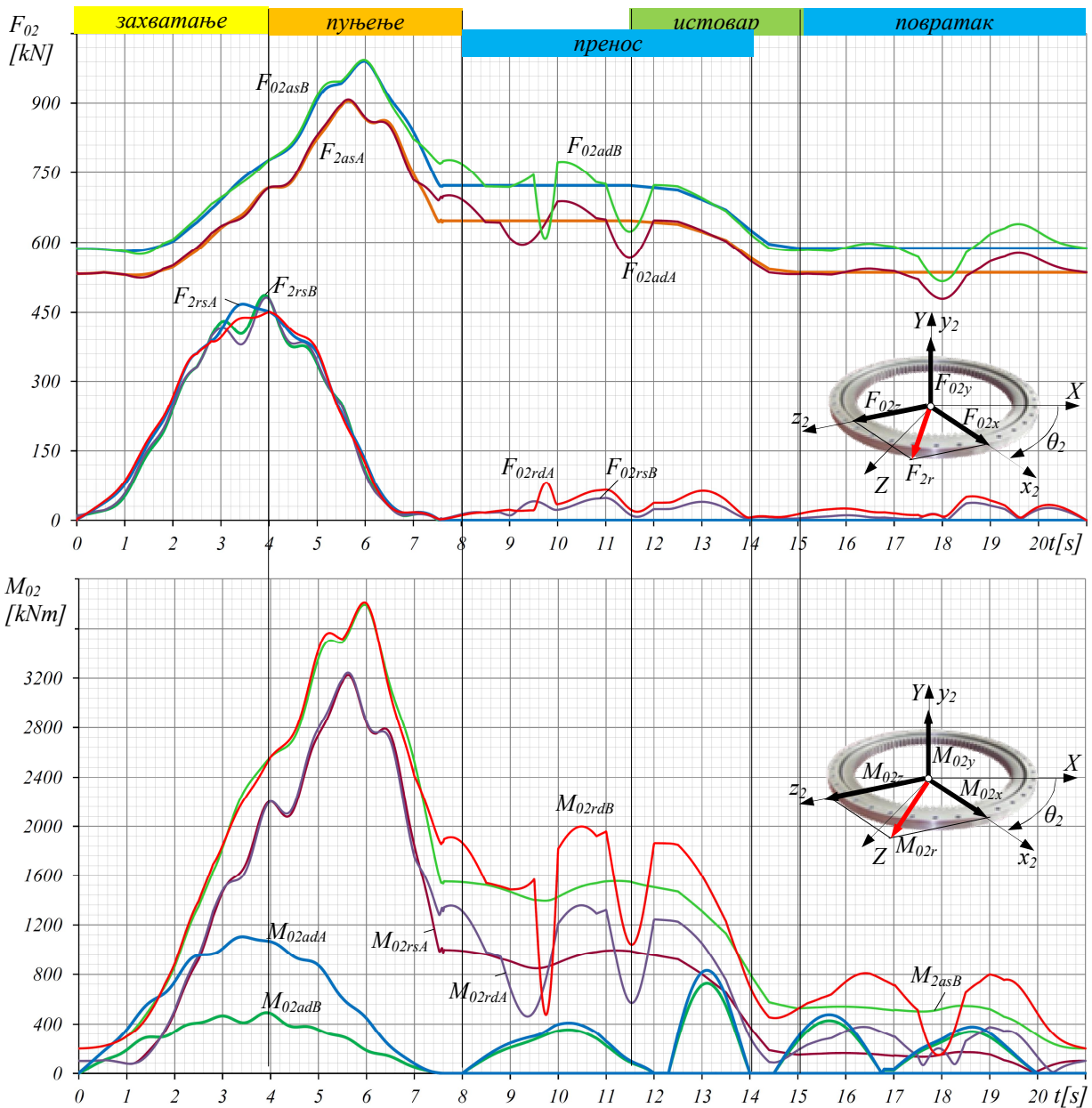
$M_{02iL})$

()

A B



Сл. 3.24 Однос инерцијалних: а) сила, б) момената оптерећења зглоба O_2 модела багера А одређених са (F_{02iC}, M_{02iC}) и без (F_{02iL}, M_{02iL}) инерцијалних оптерећења насталих кретањем хидроцилиндара



Сл.3.25 Апсолутне вредности динамичких и статичких аксијлних и радијалних: а) сила ($F_{2as,d}$, $F_{2rs,d}$), б) момената ($M_{2as,d}$, $M_{2rs,d}$) оптерећења зглоба O_2 платформе за модел багера **A** и **B**

$$F_{02a} = |F_{02y}| \quad (3.24) \quad O_2$$

O_2y_2

$$F_{02r} = (F_{02x}^2 + F_{02z}^2)^{0.5}$$

$x_2O_2z_2$.

O_2 .

$$M_{02r} = (M_{02x}^2 + M_{02z}^2)^{0.5} \quad (3.25)$$

$x_2O_2z_2$

M_{02y}

O_2y_2 .

3.2.7.4. Енергетска анализа погона. -

A B,

M_{02yA} ,

M_{02yB} (3.25)

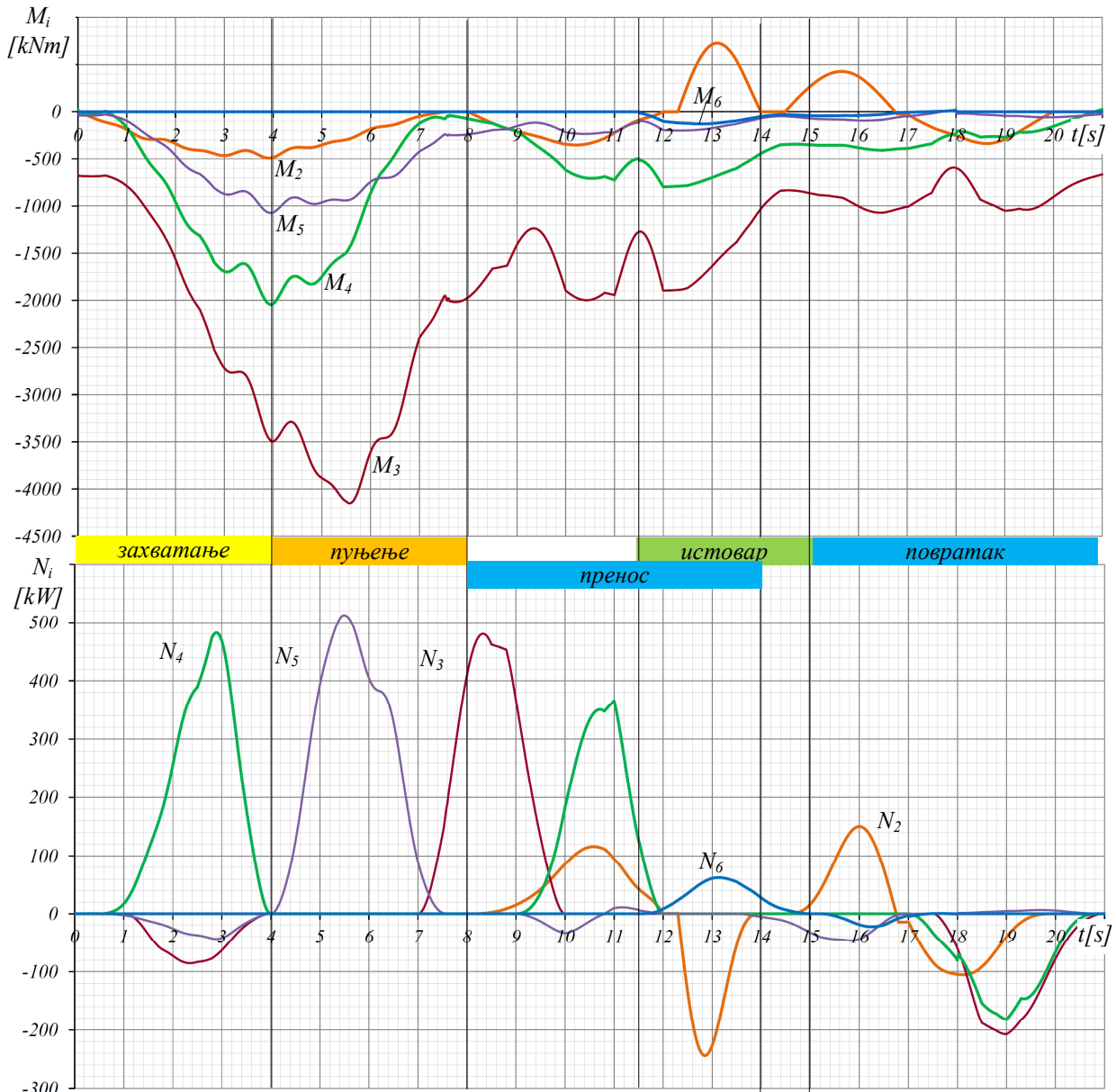
N_{02yA} , N_{02yB} (3.26)

M_{izA}, M_{izB} N_{izA}, N_{izB} $(i=3)$,
 $(i=4)$ $(i=5,6)$

W_z

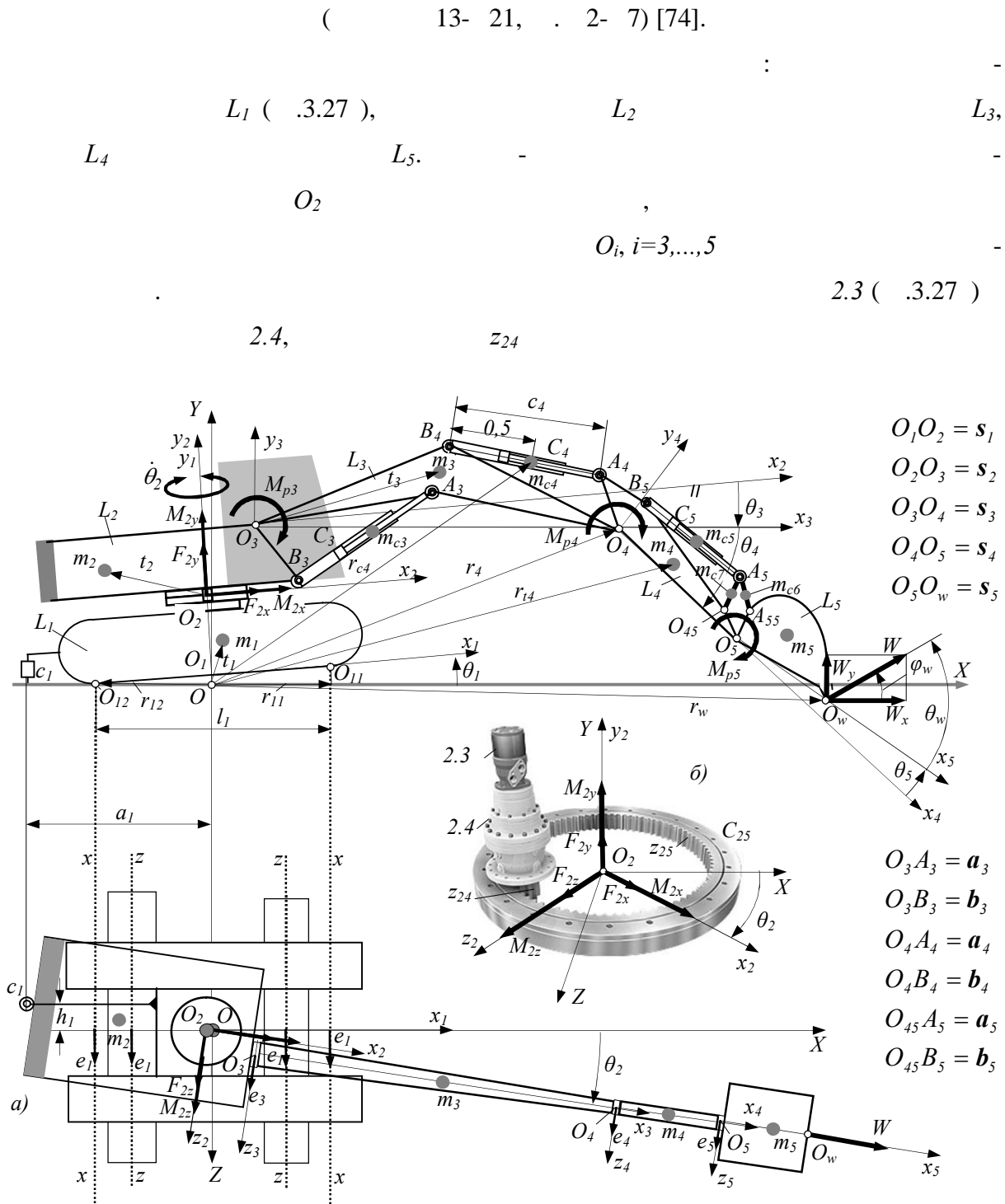
()

[83][84][85].



Сл. 3.26 Енергетски параметри: а) погонски моменти M_i , б) потребна снага N_i , $i=2,3,4,5,6$ погонског механизма обртног платформе, стреле, руке, плоче и чељусту кашике модела багера А

3.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА ПОГОНА ОКРЕТАЊА ПЛАТФОРМЕ



Сл. 3.27 Математички модел багера за експерименталну анализу функција механизма платформе

Табела Т 3.7 Мерене величине стања рада багера у експлоатационим условима (прилог сл.П2) [74]

M1	-	c_1	m
M2		c_2	m
M3		c_3	m
M4		c_4	m
M5		c_5	m
M6		p_{21}	MPa
M7		p_{22}	MPa
M8		p_{31}	MPa
M9		p_{32}	MPa
M10		p_{41}	MPa
M11		p_{42}	MPa
M12		p_{51}	MPa
M13		p_{52}	MPa

z_{25} ,
 C_3 C_4
 C_5
 C_6, C_7
 (3.7):

$$U_m = \{c_i, p_{j1}, p_{j2}\} \quad \forall i = 1, \dots, 5 \quad j = 2, \dots, 5 \quad (3.79)$$

O_2

3.3.1 Математички модел багера са дубинским манипулатором

Euler- (3.27) Newton-

3.2.1. 3.2.3.

(3.2.1).

(3.2.3).

$$L_i = \left\{ \widehat{e}_i, \widehat{s}_i, \widehat{t}_i, E_i, m_i, \widehat{J}_i \right\} \quad \forall i = 1, \dots, 5 \quad (3.80)$$

3.2.2 3.3.

$$C_i = \left\{ \widehat{e}_{ci}, d_{i1}, d_{i2}, m_{ci}, n_{ci}, \widehat{a}_i, \widehat{b}_i \right\} \quad \forall i = 3, \dots, 5 \quad (3.81)$$

3.2.3 3.21.

3.3.1.1. Геометријске и кинематичке величине. -

θ_i

L_i

L_{i-1}

(3.21):

$$\theta_i = \begin{cases} -\operatorname{arctg} \frac{2 \cdot c_i}{l_i + 2 \cdot a_i} & \forall c_i \geq 0 \\ -\operatorname{arctg} \frac{2 \cdot c_i}{2 \cdot a_i - l_i} & \forall c_i \leq 0 \end{cases} \quad (3.82)$$

: c_i -

a

-

, a_i -

, l_i -

$\theta_2 = c_2$.

$\theta_i (i=3, 4, 5)$

c_i

$$\ddot{\theta}_i \quad : \quad \begin{matrix} \theta_i & \dot{\theta}_i \end{matrix}$$

$$\dot{\theta}_i = \frac{\theta_{i(t+\Delta t)} - \theta_{i(t-\Delta t)}}{2\Delta t} \quad \forall i = 2, 3, 4, 5 \quad (3.83)$$

$$\ddot{\theta}_i = \frac{\theta_{i(t+2\Delta t)} - 2\theta_{i(t)} + \theta_{i(t-2\Delta t)}}{4\Delta t^2} \quad \forall i = 2, 3, 4, 5 \quad (3.84)$$

: $\theta_{i(t)}$ - t -
 $\theta_{i(t+\Delta t)}, \theta_{i(t-\Delta t)}, \theta_{i(t+2\Delta t)}, \theta_{i(t-2\Delta t)}$ -
 t $t, t -$

3.3.1.2. Оптерећење погона платформе. -

O_2 - -
 , ,
 (3.27):

$$F_{02} = \sum_{i=2}^5 m_i (\mathbf{w}_i + \mathbf{g}) + \sum_{i=3}^5 m_{ci} \mathbf{g} + \mathbf{W} \quad (3.85)$$

$$\mathbf{M}_{02} = \sum_{i=2}^5 m_i ((\mathbf{r}_{ti} - \mathbf{r}_2) \times (\mathbf{w}_i + \mathbf{g})) + \sum_{i=3}^5 m_{ci} ((\mathbf{r}_{cti} - \mathbf{r}_2) \times \mathbf{g}) + \sum_{i=2}^5 \mathbf{M}_i + (\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_2) \times \mathbf{W} \quad (3.86)$$

: \mathbf{w}_i - , -
 3.11 3.2.2.2, \mathbf{M}_i -
 , \mathbf{W} - , \mathbf{r}_{ti} -
 3.7 (3.2.2.1), \mathbf{r}_2 -
 , \mathbf{r}_{cti} -
 , \mathbf{r}_w -

\mathbf{W}

O_i и O_j ($i \neq j, i, j = 3, 4, 5$) ,

(3.27):

$$\mathbf{W} \times (\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_i) + \mathbf{M}_{ri} = 0 \quad (3.87)$$

$$\mathbf{W} \times (\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_j) + \mathbf{M}_{rj} = 0 \quad (3.88)$$

: $\mathbf{M}_{ri}, \mathbf{M}_{rj}$ -

O_i и $O_j, \mathbf{r}_w, \mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$ -

O_w

o o O_i и O_j .

OXY,

W_x W_y

:

$$W_x = \frac{M_{rzi}(x_w - x_j) - M_{rzi}(x_w - x_i)}{(x_w - x_j)(y_w - y_i) - (x_w - x_i)(y_w - y_j)} \quad (3.89)$$

$$W_y = \frac{M_{rzi}(y_w - y_j) - M_{rzi}(y_w - y_i)}{(x_w - x_j)(y_w - y_i) - (x_w - x_i)(y_w - y_j)} \quad (3.90)$$

: M_{rzi} , M_{rzi} -

O_i O_j .

:

$$W_{xy} = (W_x^2 + W_y^2)^{0,5} \quad (3.91)$$

O_i O_j

:

$$M_{rzi} = M_{pi} + \sum_{k=i}^5 \mathbf{e}_i \cdot (\mathbf{F}_{uk} \times (\mathbf{r}_{ii} - \mathbf{r}_i)) + \sum_{k=i}^5 \mathbf{e}_i \cdot \mathbf{M}_k \quad (3.92)$$

$$M_{rzi} = M_{pi} + \sum_{k=j}^5 \mathbf{e}_j \cdot (\mathbf{F}_{uk} \times (\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{r}_j)) + \sum_{k=j}^5 \mathbf{e}_j \cdot \mathbf{M}_k \quad (3.93)$$

: M_{pi} , M_{pj} -

O_i

O_j , \mathbf{F}_{uk} -

L_k ,

3.14 (3.2.2.3), \mathbf{M}_k -

L_k

3.15 (3.2.2.3).

$$M_{pi} = \begin{cases} \text{sign}(\dot{\theta}_i) \cdot i_{ci}^M \cdot n_{ci} \frac{d_{i1}^2 \pi}{4} (p_{i1} - p_{i2}) & \forall i = 3,4,5; \dot{\theta}_3 > 0, \dot{\theta}_4 < 0, \dot{\theta}_5 < 0 \\ \text{sign}(\dot{\theta}_i) \cdot i_{ci}^M \cdot n_{ci} \frac{(d_{i1}^2 - d_{i2}^2) \pi}{4} (p_{i2} - p_{i1}) & \forall i = 3,4,5; \dot{\theta}_3 < 0, \dot{\theta}_4 > 0, \dot{\theta}_5 > 0 \end{cases} \quad (3.94)$$

: i_{ci}^M , n_{ci} -

(4.3.1.3 4.3.2.2)

($i=3,4,5$).

W_z

M_{p2}

:

$$W_z = \frac{M_{p2}}{x_w} = \frac{\text{sign}(\dot{\theta}_2) \cdot i_{c2}^M \cdot n_{c2} \frac{q_{c2}}{2\pi} (p_{21} - p_{22})}{x_w} \quad (3.95)$$

: i_{c2}^M - , q_{c2} -
 , n_{c2} - .

W_d :

$$W_d = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \quad (3.96)$$

а (3.88-3.90), W_s .

O_2

3.85 3.86, :

$$\widehat{F}_{02x} = (A_{2o} \mathbf{F}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{i}}_2, \quad \widehat{F}_{02y} = (A_{2o} \mathbf{F}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{j}}_2, \quad \widehat{F}_{02z} = (A_{2o} \mathbf{F}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{k}}_2 \quad (3.97)$$

$$\widehat{M}_{02x} = (A_{2o} \mathbf{M}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{i}}_2, \quad \widehat{M}_{02y} = (A_{2o} \mathbf{M}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{j}}_2, \quad \widehat{M}_{02z} = (A_{2o} \mathbf{M}_{02}) \cdot \widehat{\mathbf{k}}_2 \quad (3.98)$$

: A_{2o} -

, $\widehat{\mathbf{i}}_2, \widehat{\mathbf{j}}_2, \widehat{\mathbf{k}}_2$ -

N_i

:

$$N_i = M_{pi} \cdot \dot{\theta}_i \quad \forall i = 2, \dots, 5 \quad (3.99)$$

3.3.1.3. Програм. -

c_i, p_{i1}, p_{i2}

,

:

θ_i ,

\mathbf{r}_i ,

\mathbf{r}_{ti} ,

$\dot{\theta}_i$

$\ddot{\theta}_i$

i_{ci}^M

M_{pi}

-

d_{i1}, d_{i2} ,

p_{i1}, p_{i2}

\mathbf{F}_{ui}

\mathbf{M}_i

W ,

3.3.3. Пример експерименталне анализе

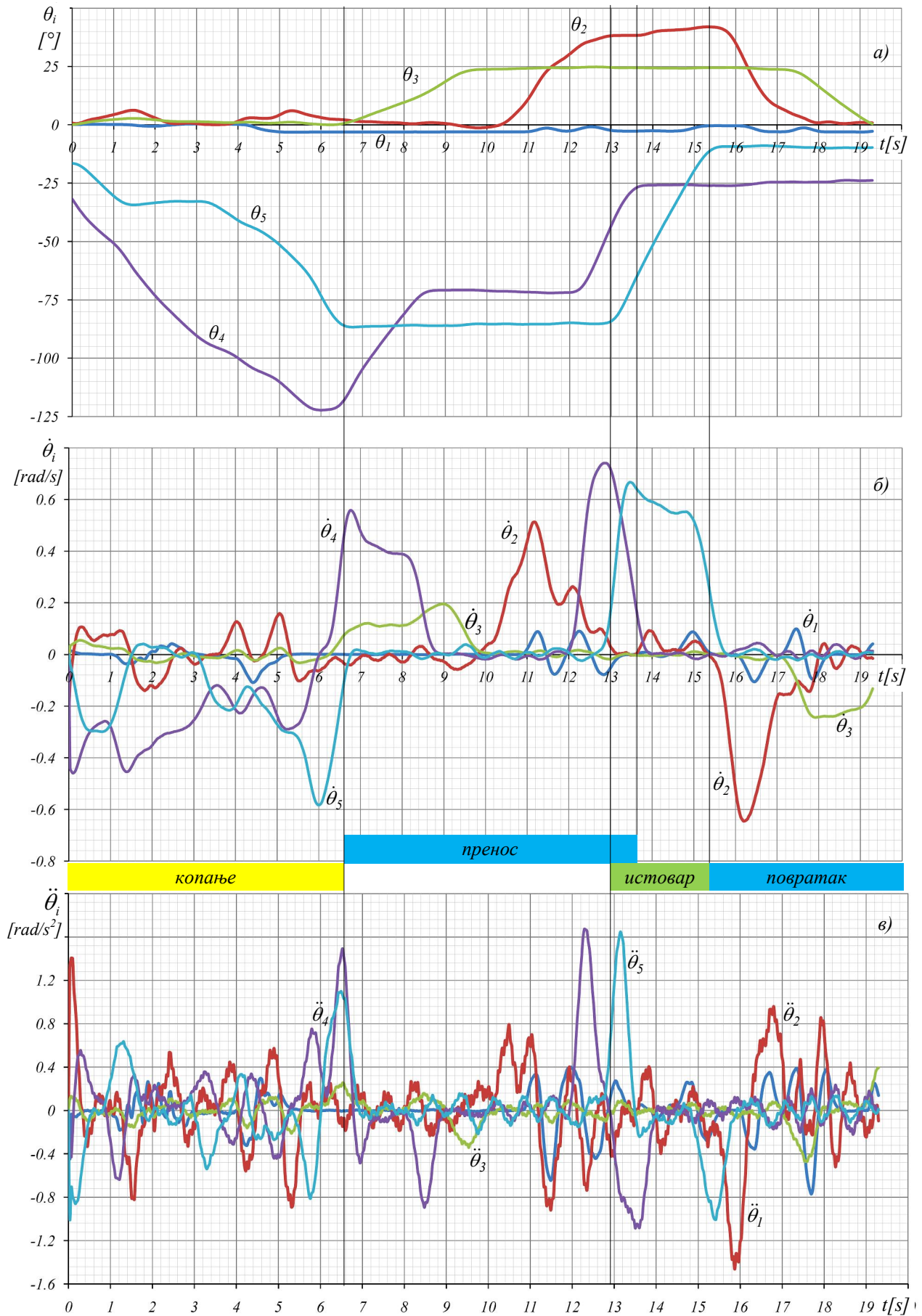
O_2 , $17000kg$, $0,6m^3$
 (13- 21, . 2- 7).
 30 (1,3m 3,2m), , , 5

3.3.3.1. Кинематичка анализа. -

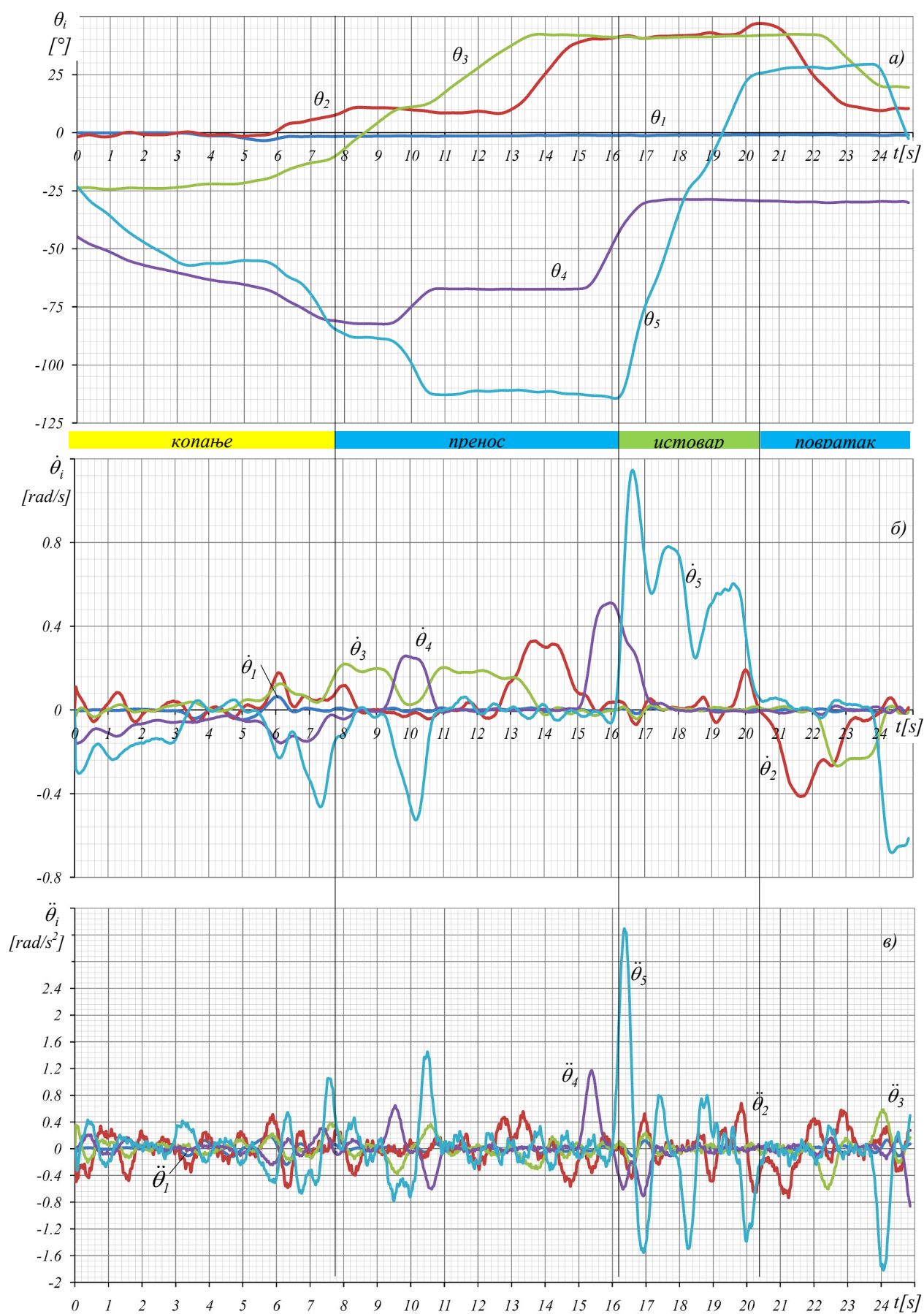
5 30 - -
 $\theta_i (i=1, \dots, 5)$ (.28 , .3.29), $\dot{\theta}_i$ (.3.28 , .3.29),
 $\ddot{\theta}_i$ (.3.28 , .3.29) .
 (θ_4) $(\dot{\theta}_4, \ddot{\theta}_4)$ -
 (θ_5) $(\dot{\theta}_5, \ddot{\theta}_5)$. -
 (θ_2) (θ_3) (θ_4) .
 (θ_4) (θ_5) .
 , . -
 30 (. 3.29)

3.3.3.2. Анализа сила отпора копања. -

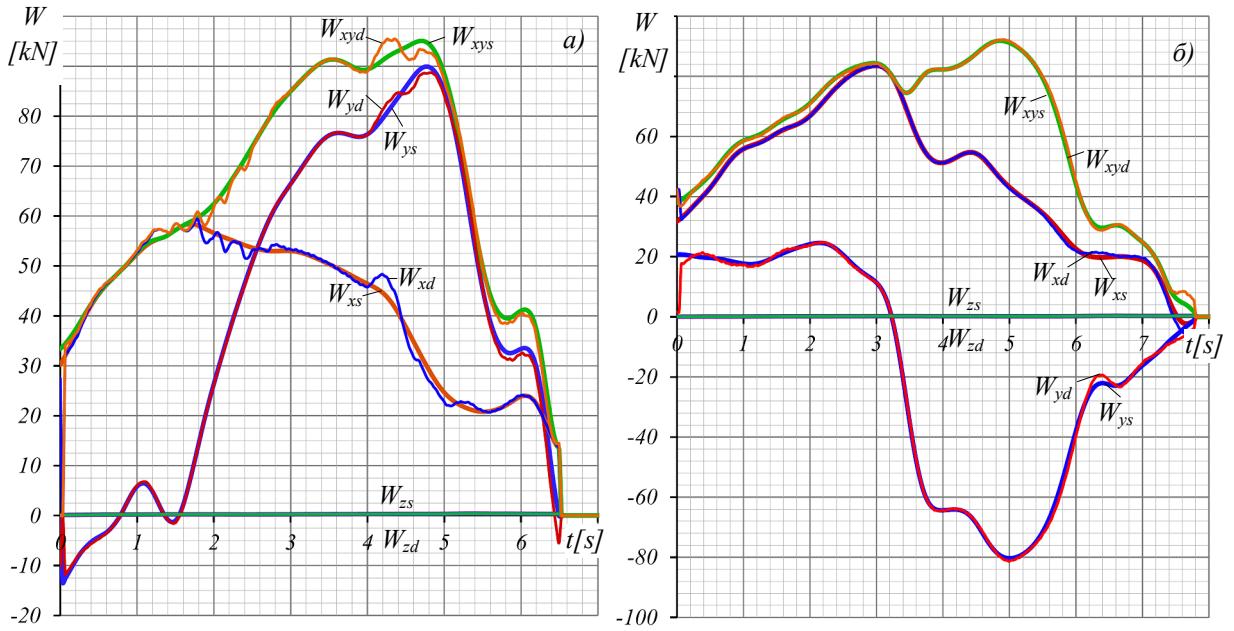
,
 W_{xd}, W_{yd}, W_{zd} (.3.30 ,)
 W_{xs}, W_{ys}, W_{zs} -
 ,



Сл 3.28. Кинематичке величине: а) релативни углови положаја, б) угаоне брзине и в) угаона убрзања чланова кинематичког ланца испитиваног модела багера за манипулациони задатак 5



Сл. 3.29 Кинематичке величине: а) релативни углови положаја, б) угаоне брзине и в) угаона убрзања чланова кинематичког ланца испитиваног модела багера за манипулациони задатак 30



Сл. 3.30 Компоненте статичких W_{xs} , W_{ys} , W_{zs} , W_{xys} и динамичких W_{xd} , W_{yd} , W_{zd} , W_{xyd} сила отпора копања током манипулационих задатака: а) 5, б) 30 (прилог сл.П2)

5

$$W_x, W_y \quad (.3.30)$$

30

$$W_y \quad (.3.30)$$

$$W_{zs}, W_{zd}$$

$$W_{xy}$$

3.3.3.3. Анализа оптерећења погона платформе. -

.3.32)

O_2

(.3.31 , .3.32)

(.3.31 ,

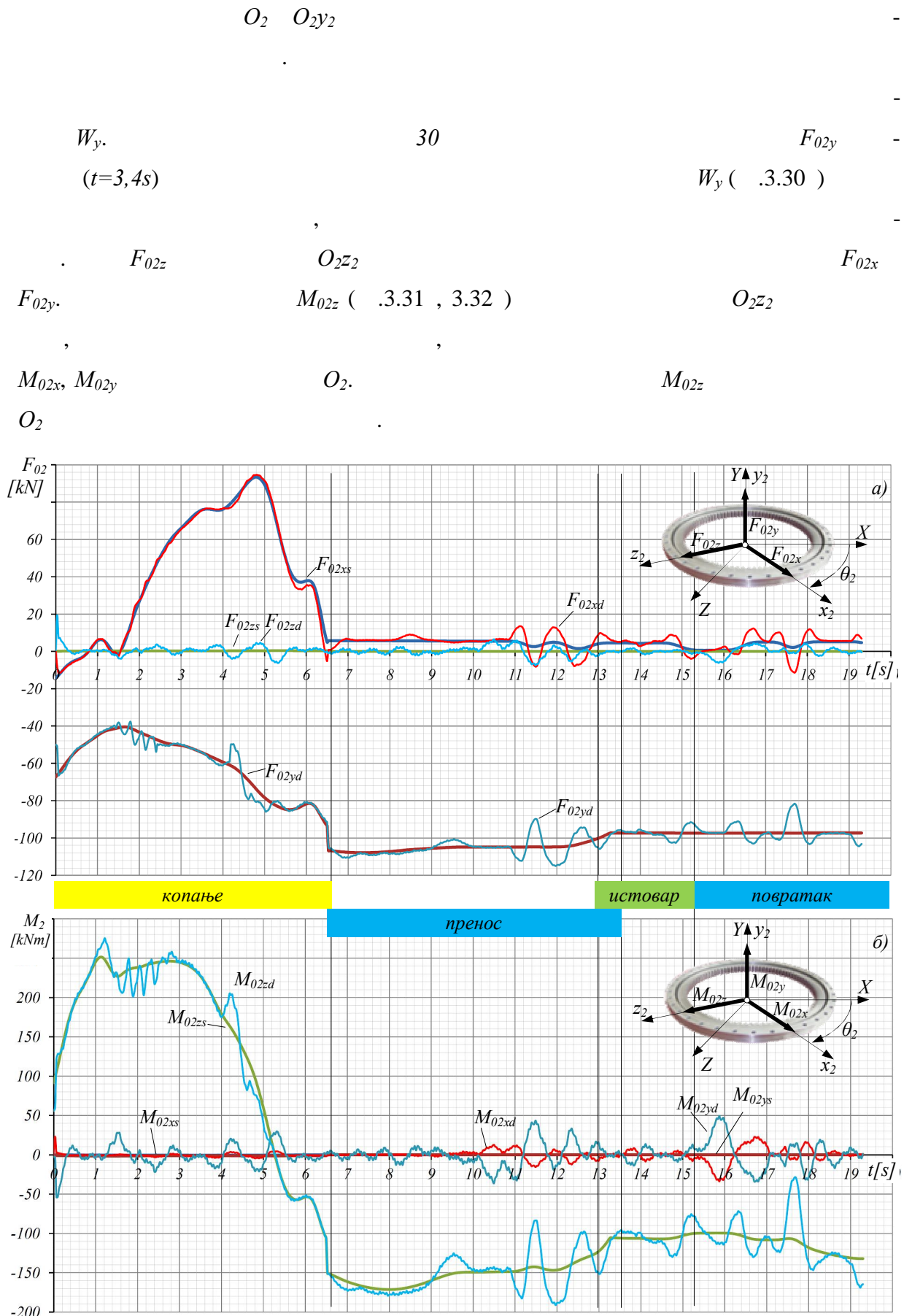
F_{2x} (.3.31 , 3.32a)

O_2

O_2x_2

W_x .

F_{02y}



Сл. 3.31. Компоненте статичких и динамичких: а) сила $F_{02xs,d}$, $F_{02ys,d}$, $F_{02zs,d}$, б) момента $M_{02xs,d}$, $M_{02ys,d}$, $M_{02zs,d}$ оптерећења зглоба O_2 обртне платформе багера за манипулациони задатак 5

5

($t=5,2s$),

$W_x, W_y,$

M_{02z}

30

($t=3,2s$)

$M_{02z},$

5,

$F_{02xs}, F_{02ys},$

F_{02zs} (.3.32)

$M_{02xs}, M_{02ys}, M_{02zs}$ (.3.32)

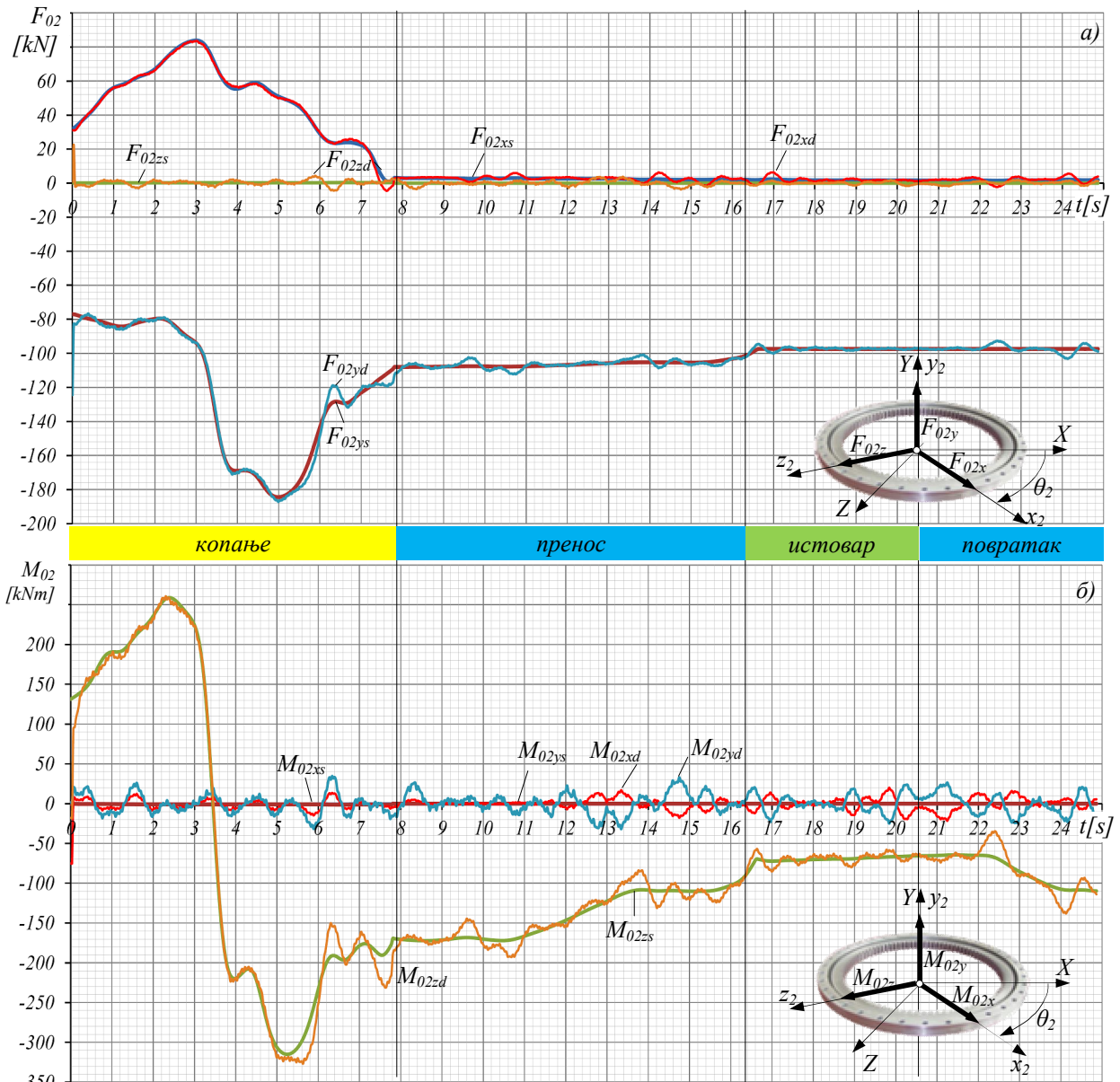
O_2

$F_{02xd}, F_{02yd}, F_{02zd}$

$M_{02xd}, M_{02yd}, M_{02zd}$

O_2

30.



Сл.3.32 Компоненте статичких и динамичких: а) сила $F_{02xs,d}, F_{02ys,d}, F_{02zs,d}$, б) моментата $M_{02xs,d}, M_{02ys,d}, M_{02zs,d}$ оптерећења зглоба O_2 обртне платформе багера за манипулациони задатак 30

O_2

5,

O_2

($t=10s$)

($t=15,4s$).

M_{02z}

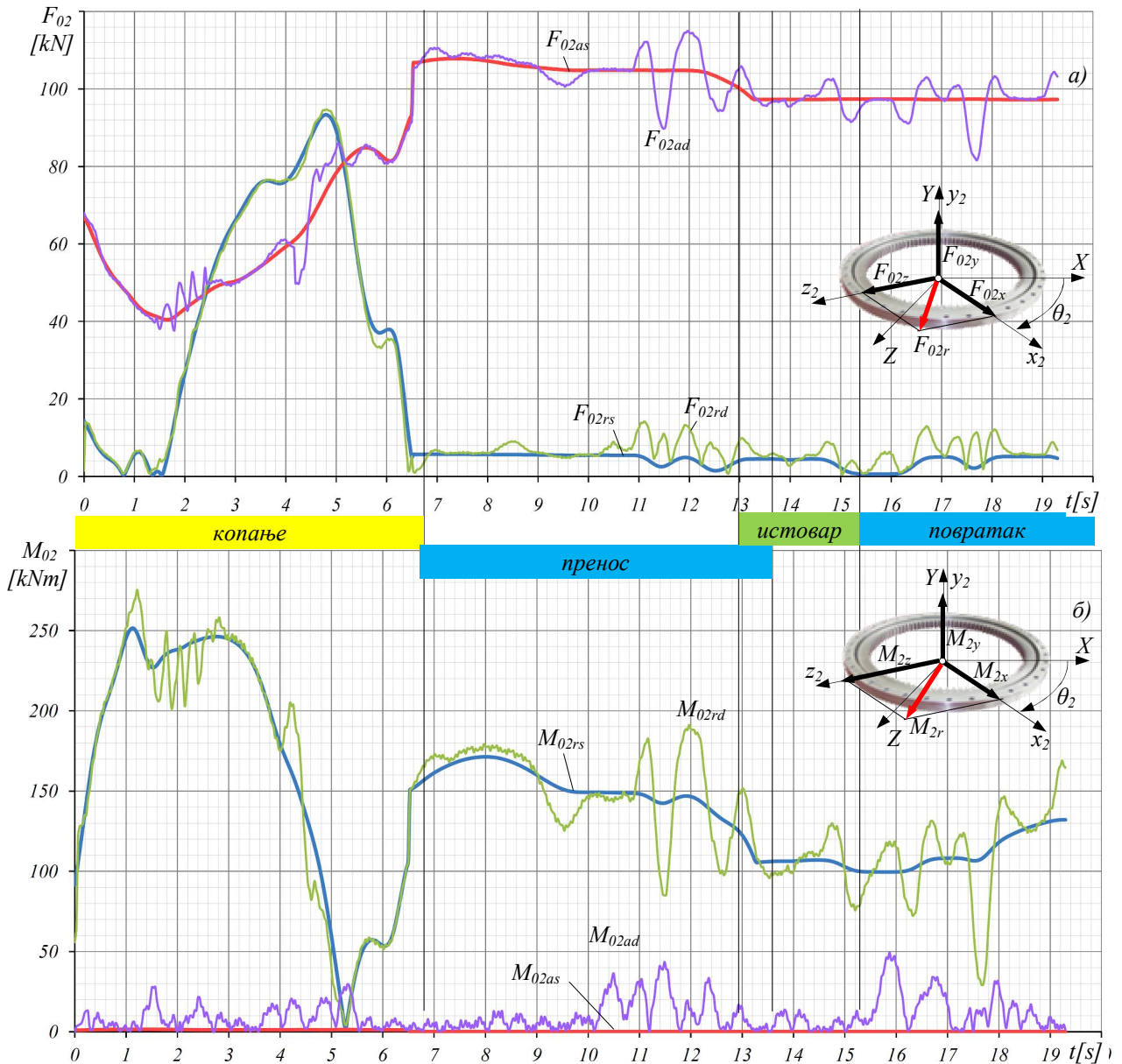
M_{02x}, M_{02y}

$F_{02a} (.3.33 , .3.34)$

F_{02r}

$M_{02a}, M_{02r} (.3.33 , .3.34)$

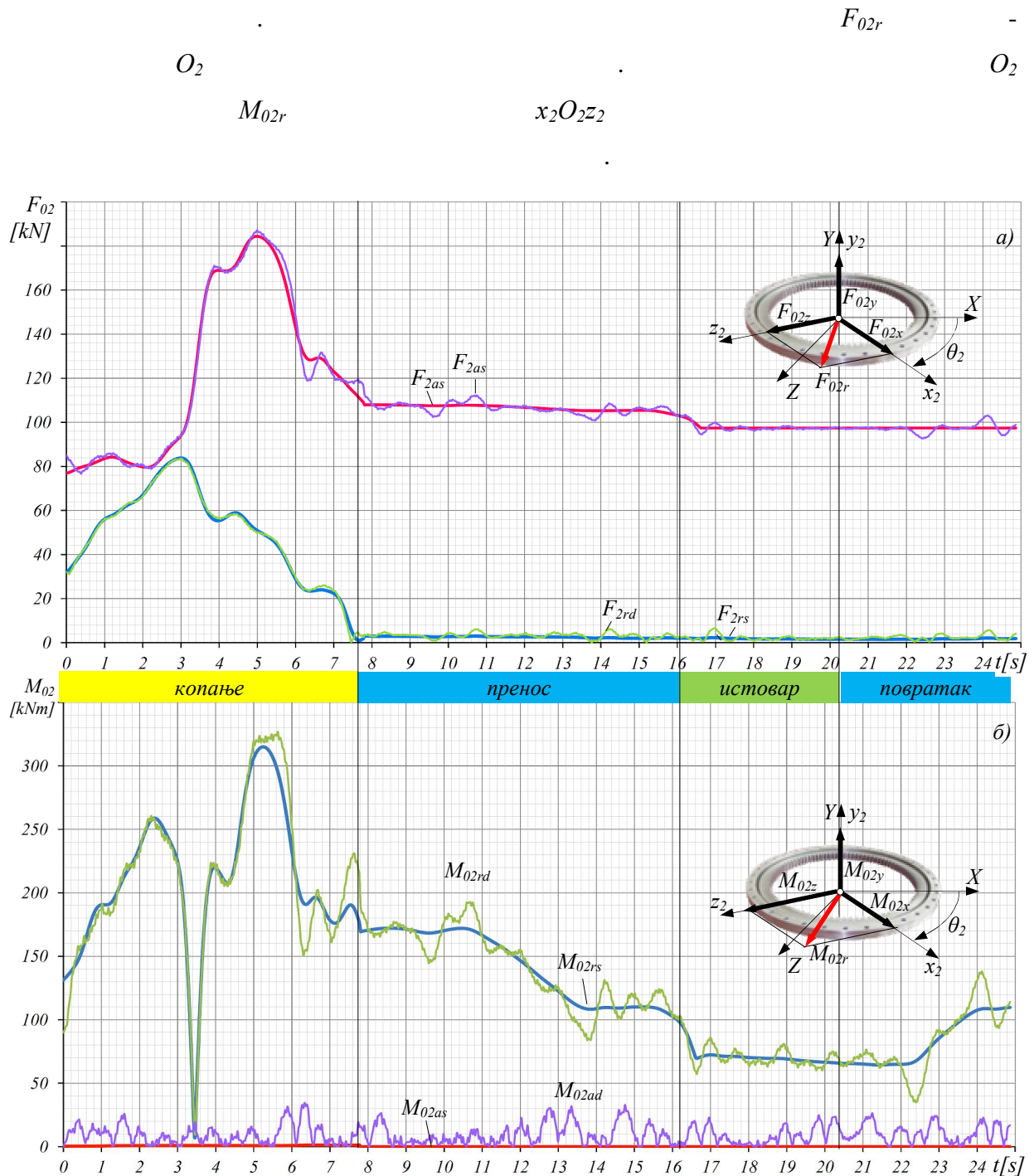
O_2



Сл3.33 Статичка и динамичка оптерећења зглоба O_2 : а) аксијалне F_{02as} , F_{02ad} и радијалне силе F_{02rs} , F_{02rd}
 б) аксијални M_{02as} , M_{02ad} и радијални моменти M_{02rs} , M_{02rd} за манипулациони задатак 5

$$F_{02a} \quad (.3.33)$$

30

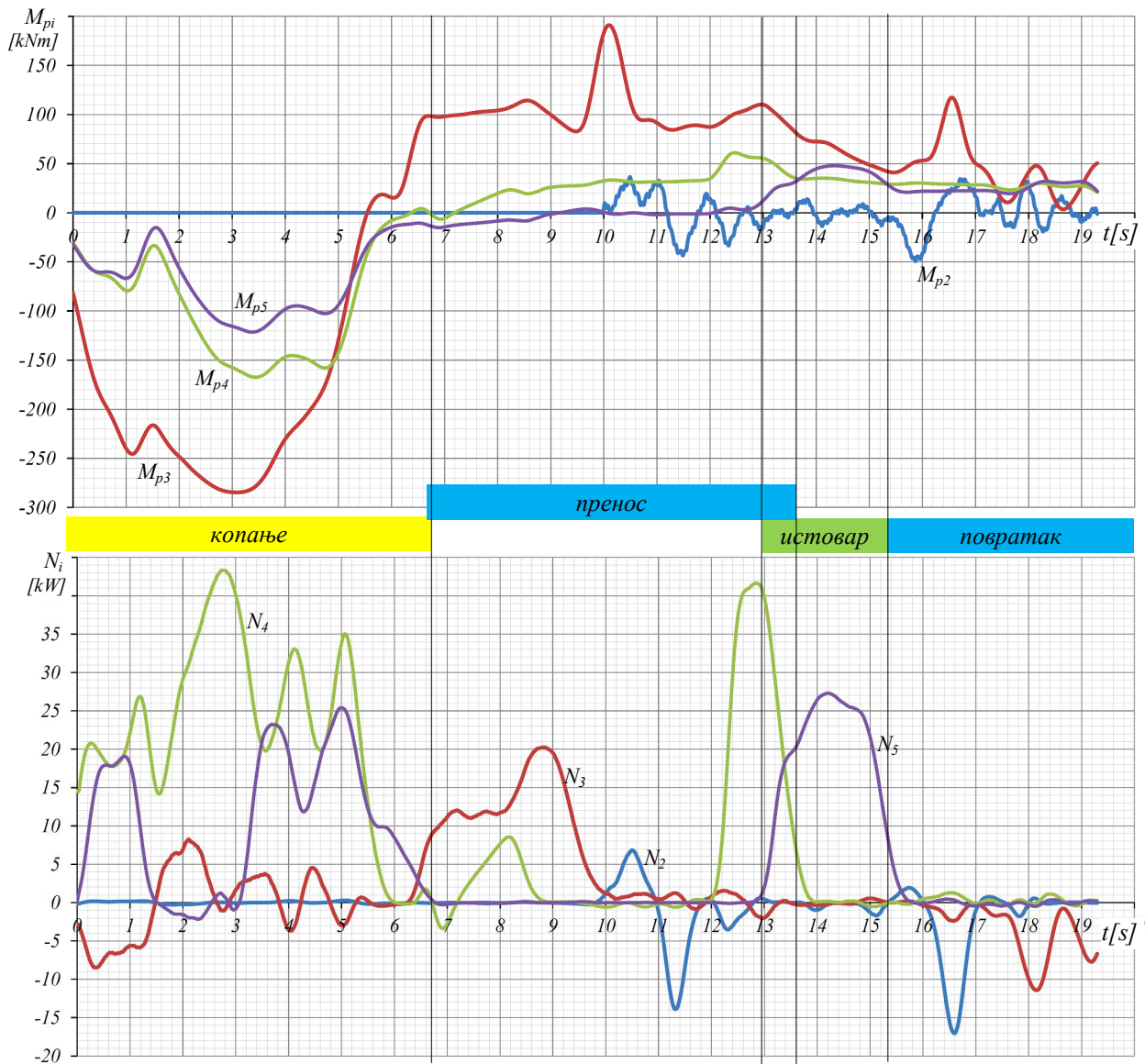


Сл. 3.34 Статичка и динамичка оптерећења зглоба O_2 : а) аксијалне F_{02as} , F_{02ad} и радијалне силе F_{02rs} , F_{02rd} б) аксијални M_{02as} , M_{02ad} и радијални моменти M_{02rs} , M_{02rd} за манипулациони задатак 30

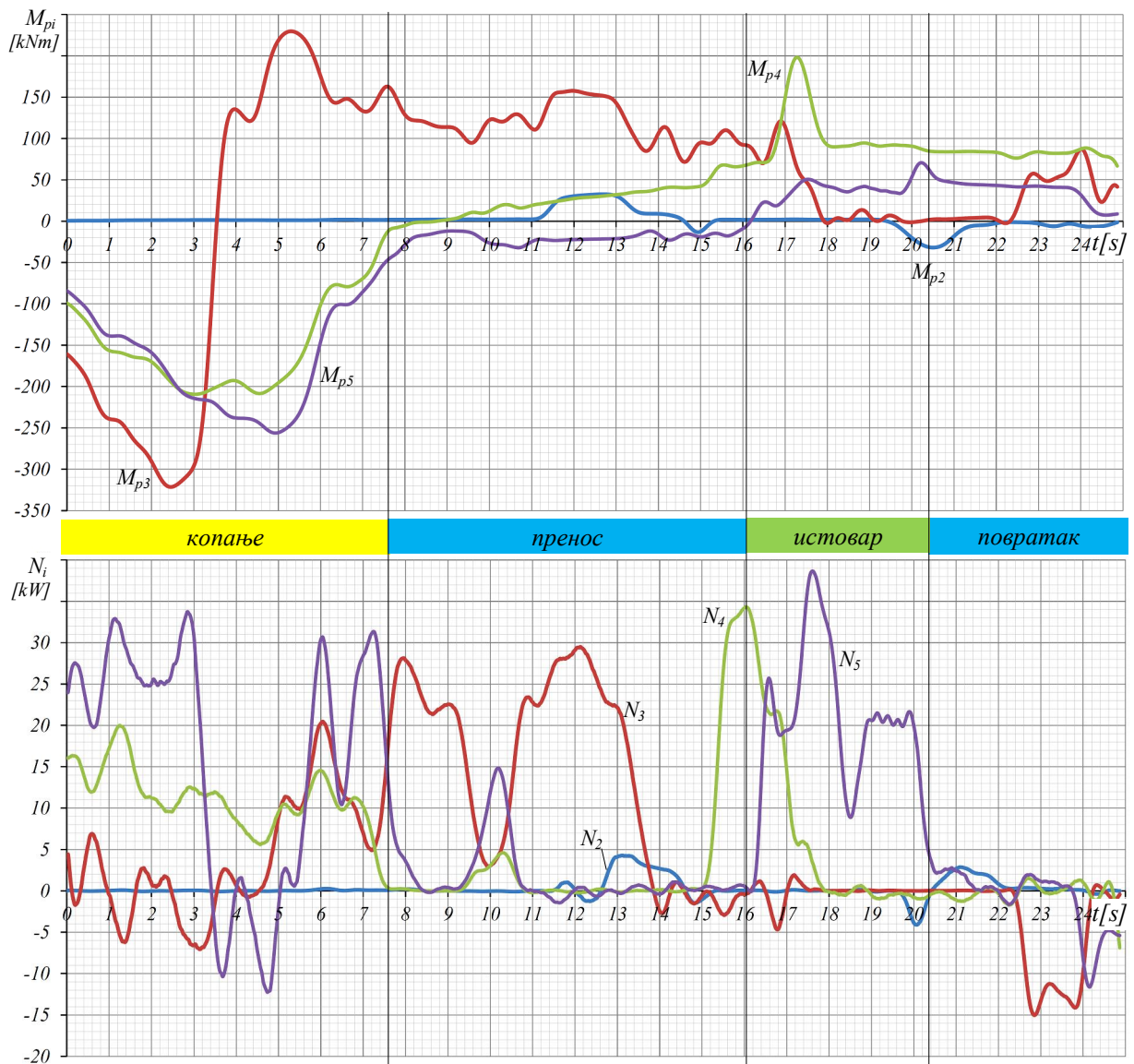
3.3.3.4. Енергетска анализа. -

M_{pi} (.3.35 , .3.36) N_i (.3.35 , .3.36)
 ($i=2$) ($i=3,4,5$).

M_{p2}
 N_{p2}
 $M_{p3}, N_{p3}, M_{p4}, N_{p4}, M_{p5}, N_{p5}$



Сл. 3.35 Енергетски параметри: а) моменти погонских механизма: платформе M_{p2} , стреле M_{p3} , руке M_{p4} и кашике M_{p5} б) снага N_2, N_3, N_4, N_5 платформе, стреле, руке и кашике за манипулациони задатак 5



Сл. 3.36 Енергетски параметри: а) моменти погонских механизма: платформе M_{p2} , стреле M_{p3} , руке M_{p4} и кашике M_{p5} б) снага N_2 , N_3 , N_4 , N_5 платформе, стреле, руке и кашике за манипулациони задатак 30

,
,
(
) , ,
.

3.3.3.5. Показатељи анализе. -

- :
-
,
- ;
- ;
 O_2 а
- ;
- O_2 ;
- O_2 ;
- ;
- O_2 ;
- O_2 ;
- ;
 O_2 ;
- ;
 O_2 ;
- ;
-
, - O_2
.

4.2. КРИТЕРИЈУМИ ИЗБОРА АКСИЈАЛНОГ ЛЕЖАЈА

O_2 (.4.1 ,)

a

F_{02}

M_{02}

$O_2,$

. Me ,

(.4.1):

$$F_{c2} = \frac{2|M_{02y}|}{D_{25} - d_{24}} [\sin(\theta_2 + \alpha_2)\mathbf{i} - \cos(\theta_2 + \alpha_2)\mathbf{k}] \quad (4.1)$$

: M_{02y} -

, α_2 -

, D_{25} -

, d_{24} -

180°

(.4.1)

O_2

:

$$\mathbf{F}_2 = \mathbf{F}_{02} + \mathbf{F}_{c2} \quad (4.2)$$

$$F_{2x} = F_2 \cdot i_2, \quad F_{2y} = F_2 \cdot j_2, \quad F_{2z} = F_2 \cdot k_2 \quad (4.3)$$

: \mathbf{F}_{02} -

- 3.44 (3).

a \mathbf{F}_2

\mathbf{F}_{2r} - , -

\mathbf{F}_{2x} \mathbf{F}_{2z}

\mathbf{F}_{2a} - -

O_{2y}

\mathbf{F}_{2y} .

O_2

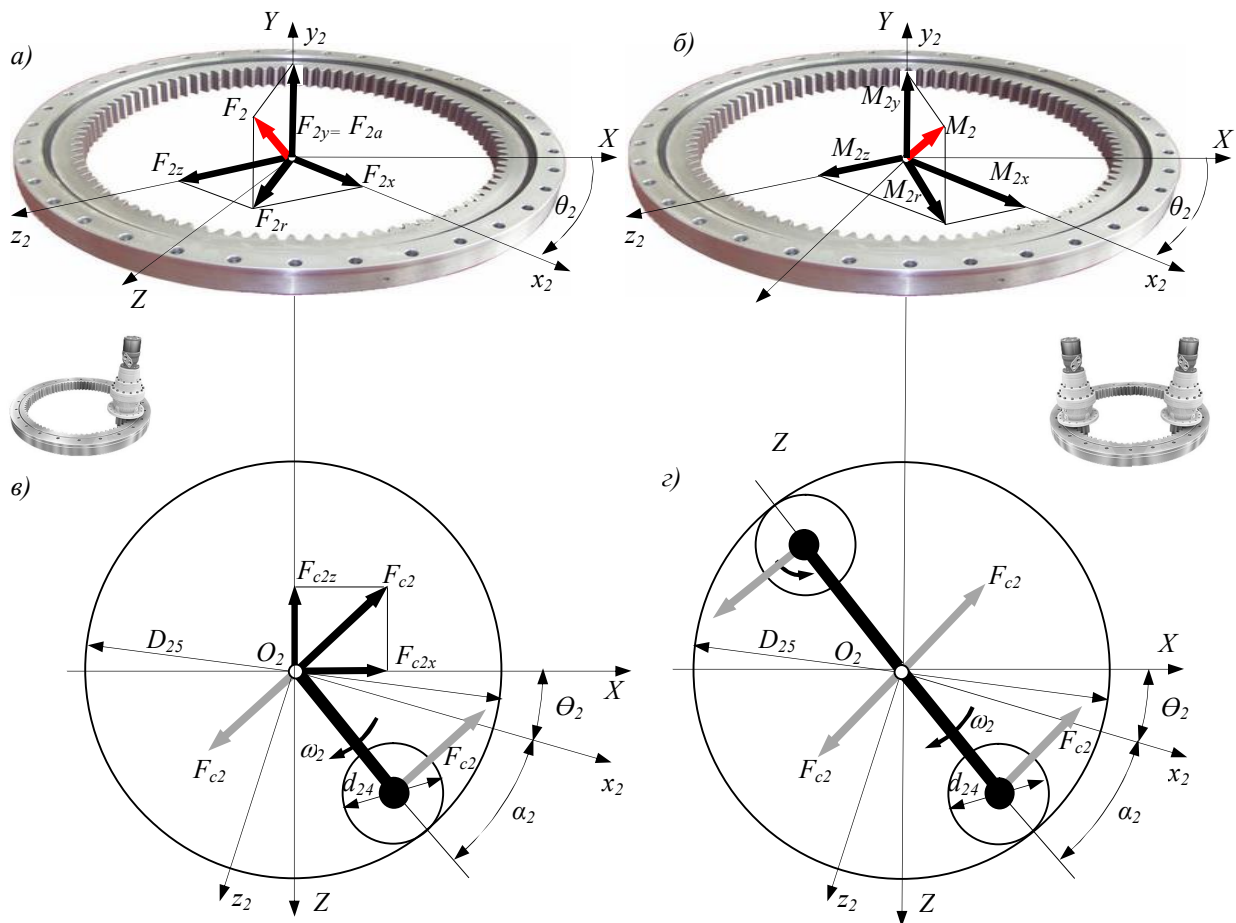
:

$$\mathbf{M}_2 = \mathbf{M}_{02} - M_{02y} \mathbf{j}_2 \quad (4.4)$$

$$M_{2x} = M_2 \cdot i_2, \quad M_{2y} = M_2 \cdot j_2, \quad M_{2z} = M_2 \cdot k_2 \quad (4.5)$$

: \mathbf{M}_{02} -

- 3.45 (3).



Сл.4.1 Компоненте оптерећења аксијалног лежјаја погона окретања платформе багера: а) силе, б) моменти, в) силе оптерећења лежјаја од једног погона, д) силе оптерећења лежјаја од два погона

$$M_2 \quad M_{2r} \quad -$$

$$M_{2x} \quad M_{2z},$$

$$M_{2y},$$

4.2.1. Еквивалентна оптерећења

: Rothe Erde INA.

4.2.1.1. Критеријуми избора Rothe Erde. -

Rothe Erde

[61]:

- : $F_{es} = (a \cdot F_{2a} + b \cdot F_{2r}) \cdot f_s$ (4.6)

- : $M_{es} = c \cdot M_{2r} \cdot f_s$ (4.7)

: F_{2a}, F_{2r} -

, M_{2r} -

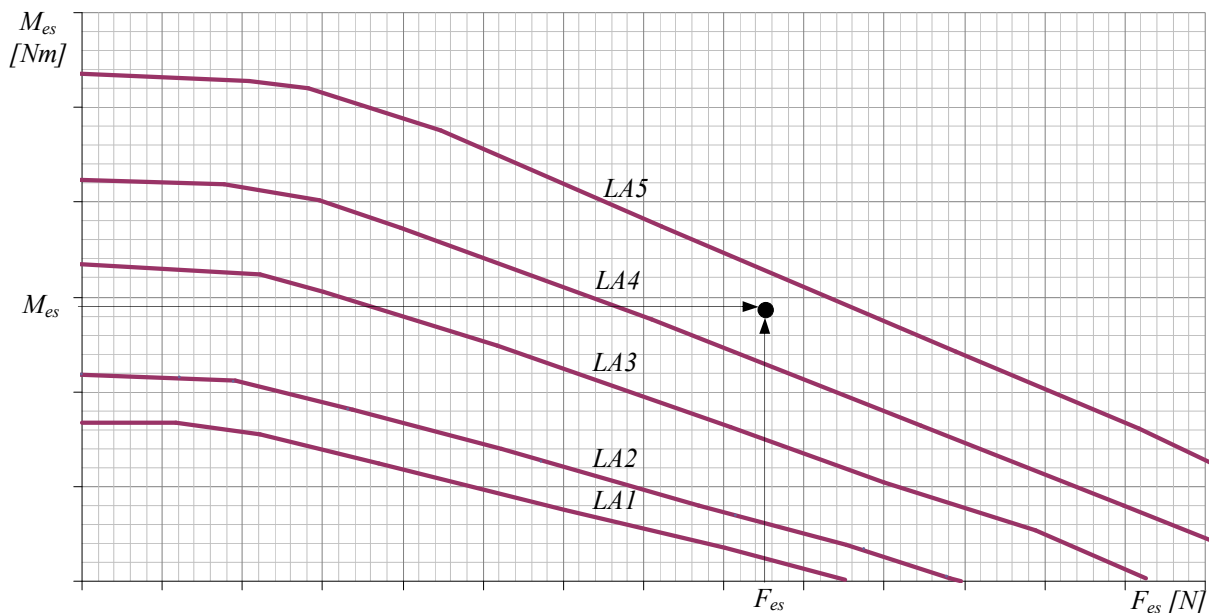
, a, b, c -

, f_s - (.23).

(.4.2)

F_e

M_e .



Сл.4.2 Дијаграм дозвољених носивости расположивих аксијалних лежаја RotheErde [51]

$$LA1-LA5 \quad (4.2)$$

$$F_{es} \quad M_{es}$$

LA5.

4.2.1.2. Критеријуми избора INA.

INA

[62]:

$$\bullet \quad : \quad F_{es} = F_{2a} \cdot f_A \cdot f_S \cdot f_R \quad (4.8)$$

$$\bullet \quad : \quad M_{es} = M_{2r} \cdot f_A \cdot f_S \cdot f_R \quad (4.9)$$

: F_{2a}, M_{2r} - , f_A - - -

, f_S - , f_R -

- ε

$$F_{2r}/F_{2a} \quad (4.3).$$

ε

:

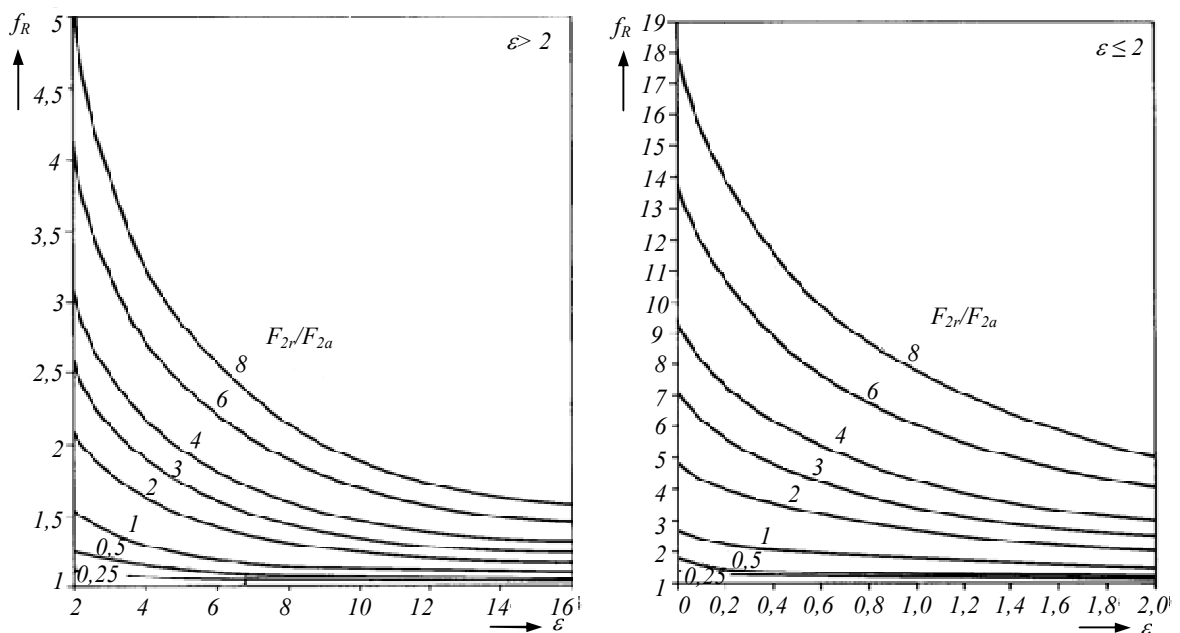
$$\varepsilon = \frac{2 \cdot M_{2r}}{F_{2a} \cdot D_L} \quad (4.10)$$

: D_L -

Rothe Erde INA

:

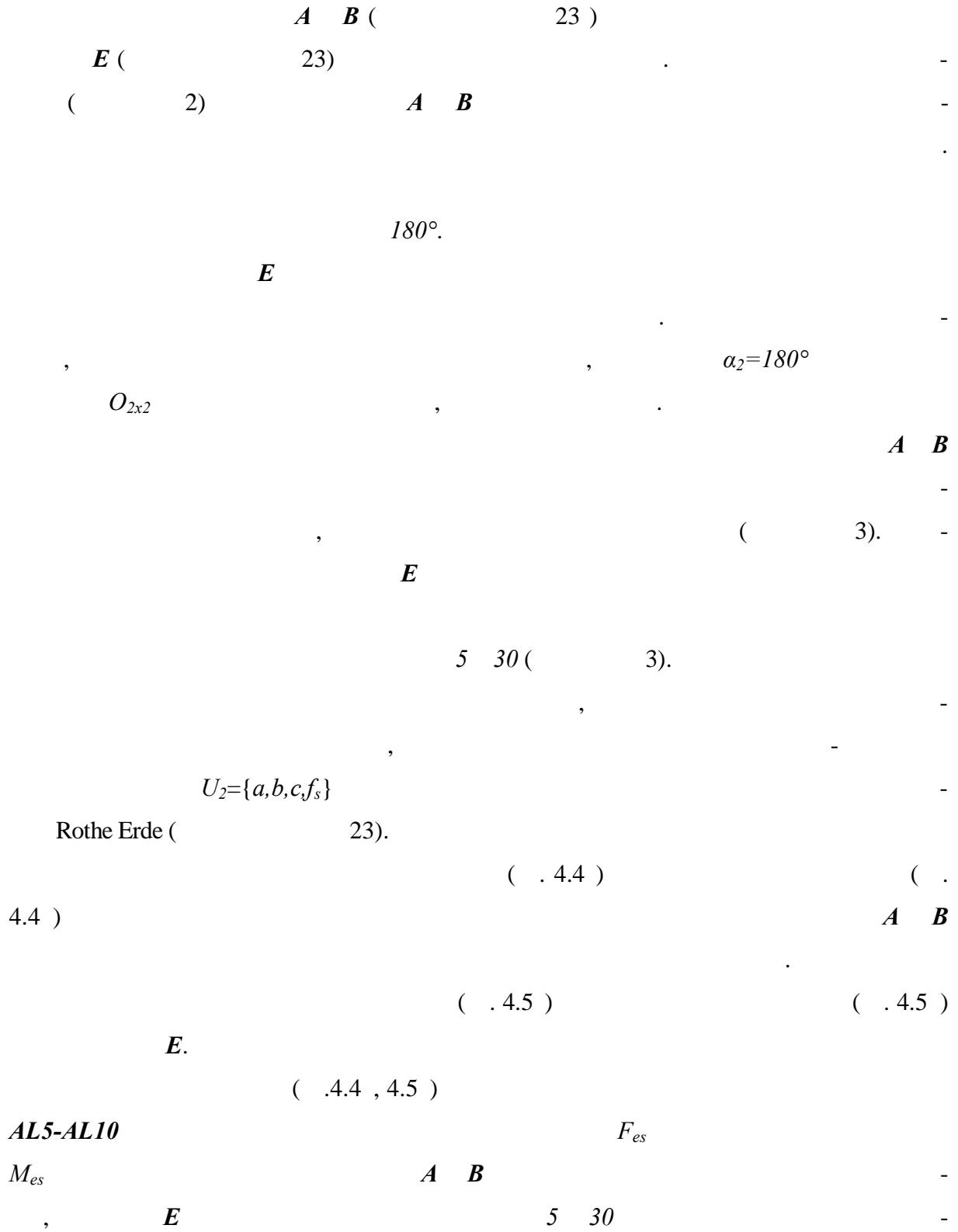
$$F_{2a} = |F_{2y}|, \quad F_{2r} = (F_{2x}^2 + F_{2z}^2)^{1/2}, \quad M_{2r} = (M_{2x}^2 + M_{2z}^2)^{1/2} \quad (4.11)$$

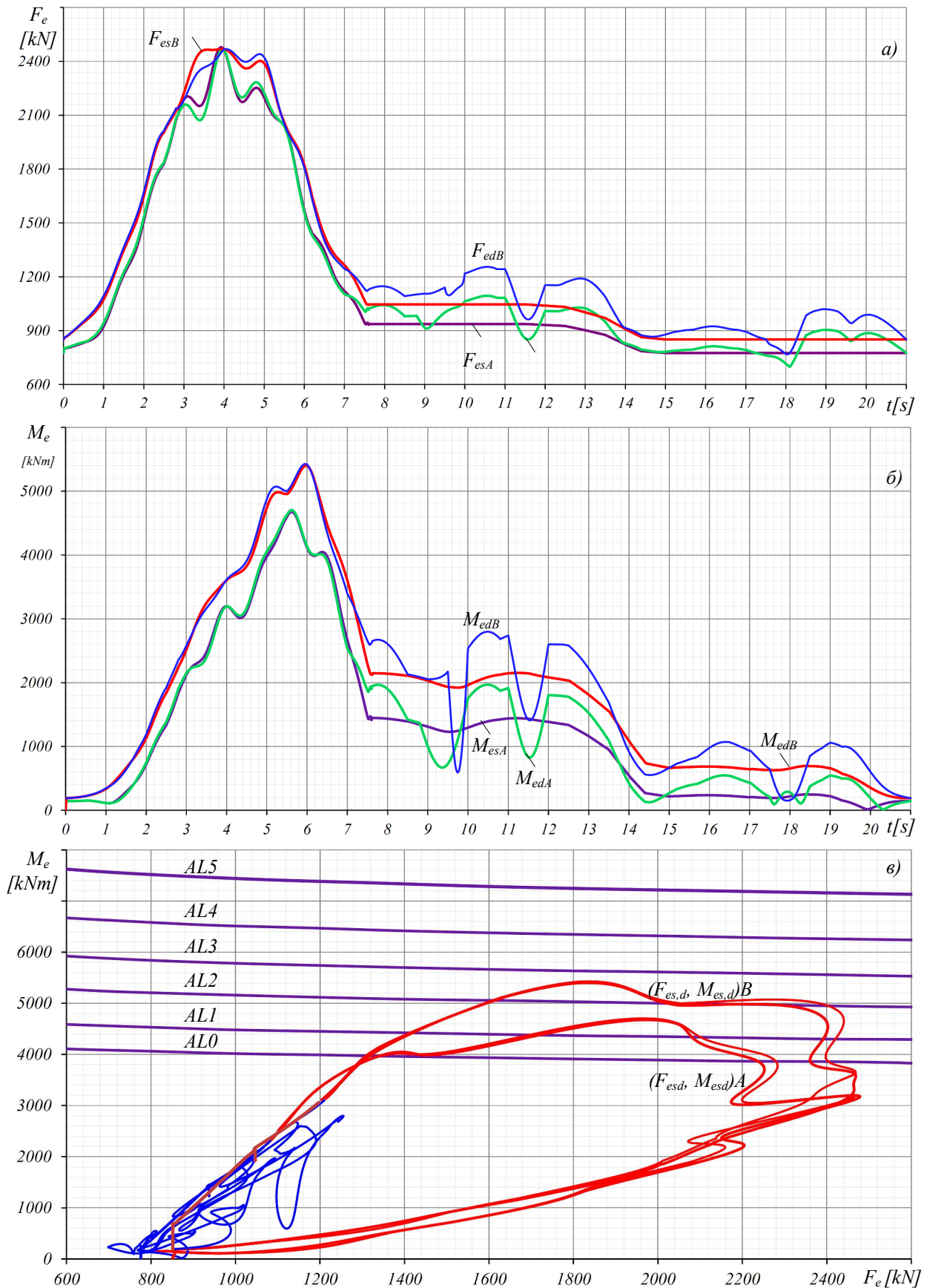


Сл. 4.3 Фактори радијалног оптерећења f_R лежја INA [62]

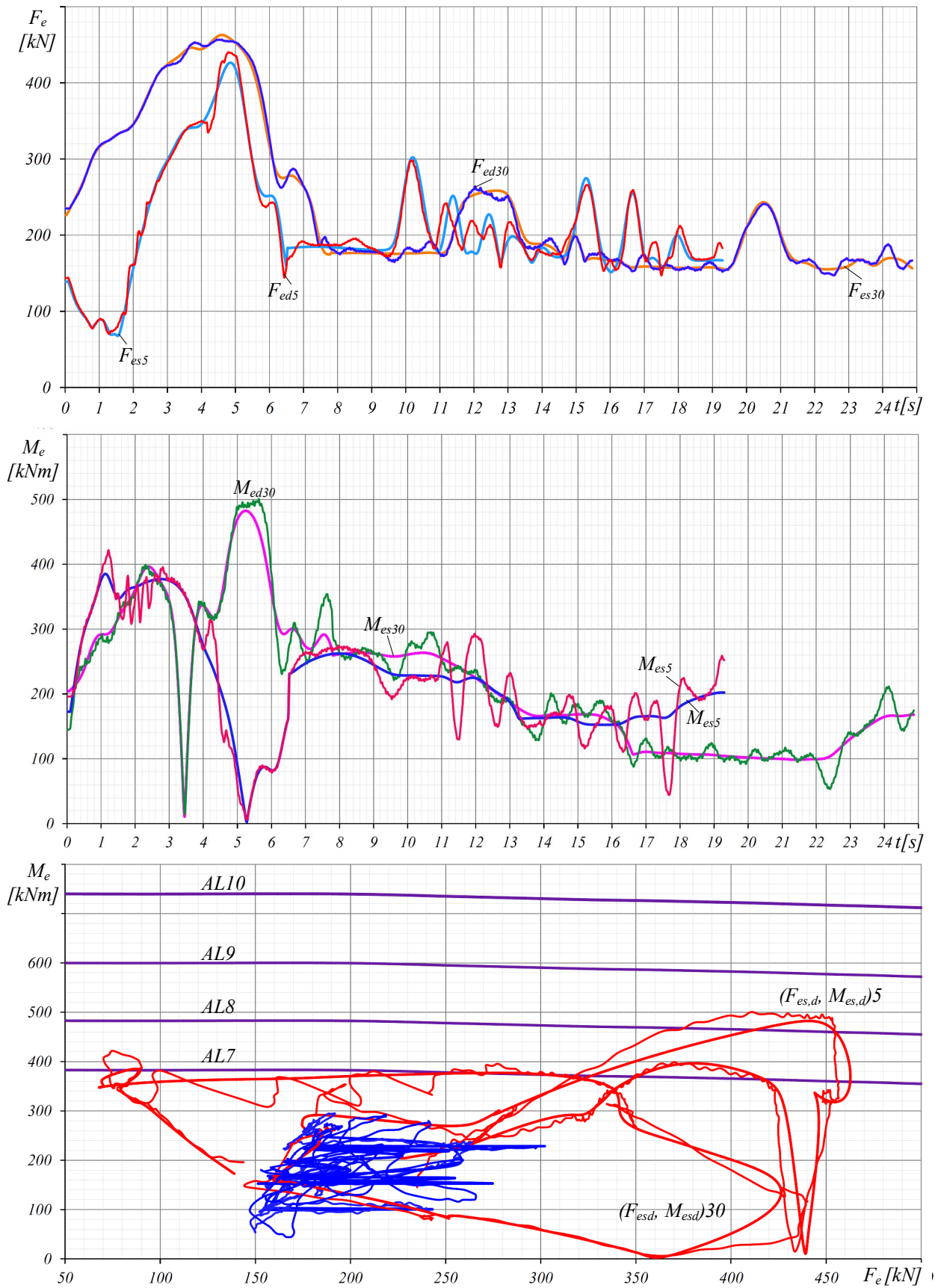
4.2.3. АНАЛИЗА ЕКВИВАЛЕНТНИХ ОПТЕРЕЂЕЊА

Rothe Erde,





Сл. 4.4 Еквивалентна оптерећења аксијалног лежаја погона окретања платформе модела багера А и В:
 а) еквивалентне статичке F_{es} и динамичке F_{ed} силе, б) еквивалентни статички M_{es} и динамички M_{ed} моменти, в) еквивалентна оптерећења лежаја у односу на дозвољене ностивости расположивих лежајева AL0, ..., AL5



Сл. 4.5 Еквивалентна оптерећења аксијалног лежаја погона окретања платформе модела багера **Е** за манипулационе задатке 5 и 30: а) еквивалентне статичке F_{es} и динамичке F_{ed} силе, б) еквивалентни статички M_{es} и динамички M_{ed} моменти, в) еквивалентна оптерећења лежаја у односу на дозвољене носивости расположивих лежајева AL7,...,AL10

(. 4.4 ,

.4.5 ,) ,
е

() .

B

B

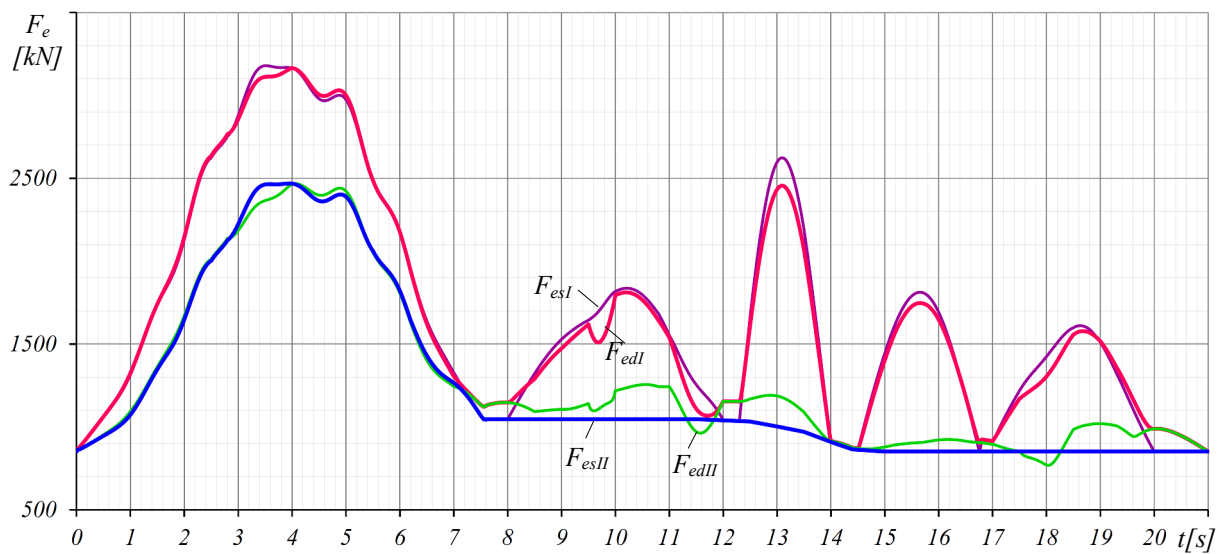
180°

O_2x_2 ,

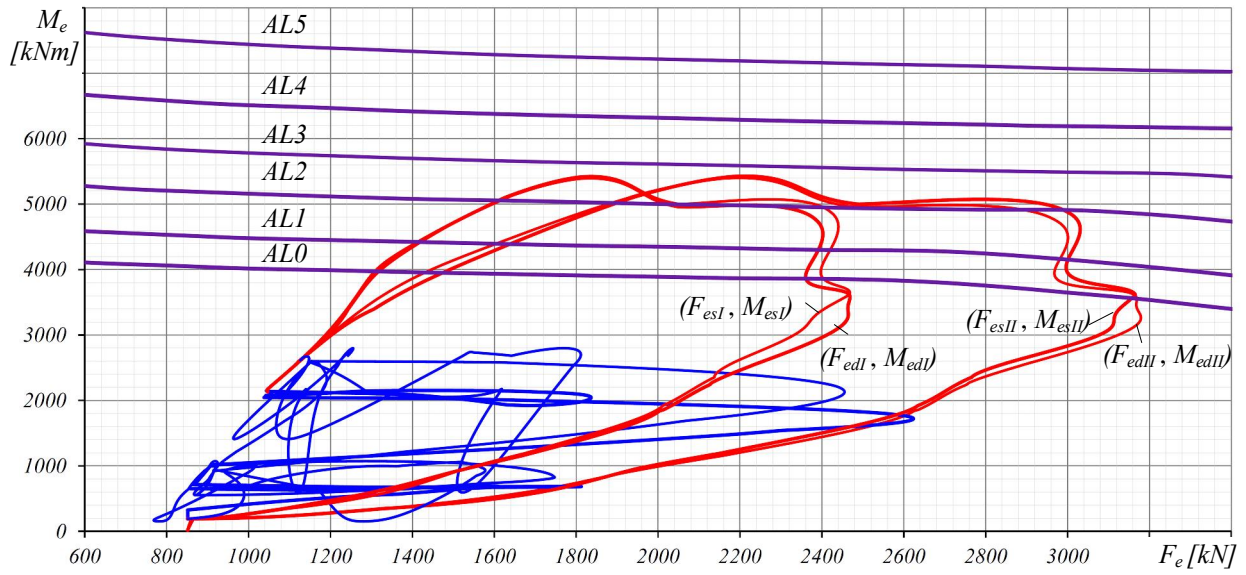
180°

(.4.6)

B



Сл. 4.6 Еквивалентне статичке и динамичке силе модела багера **B** са једним F_{esI}, F_{edI} и два F_{esII}, F_{edII} погона окретања платформе



Сл. 4.7 Поређење еквивалентних оптерећења лежаја багера **B** са једним $F_{esI}, F_{edI}, M_{esI}, M_{edI}$ и два $F_{esII}, F_{edII}, M_{esII}, M_{edII}$ погоном платформе у односу на дозвољене носивости лежајева AL0-AL5

B

(. 4.7)

B

()

()

(3),

4.6 4.7

4.3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ БАГЕРА ЗА ИЗБОР ЛЕЖАЈА

4.3.1. Математички модел багера са утоварним манипулатором

(.4.8)

(3.2.1, .3.1).

(.4.8)

W ():

(3),

4.3.1.1. Математички модел кинематичког ланца багера. -

L_i , O_{ixiyiz_i} ,

[69][70]:

$$L_i = \{ \hat{e}_i, \hat{s}_i, \hat{t}_i, m_i \} \quad (4.12)$$

\hat{e}_i - $()$ O_i L_i
 $L_{i-1}; \hat{s}_i$ - O_{i+1} L_i
 $L_{i+1},$ $L_i; \hat{t}_i$ -
 m_i $L_i.$

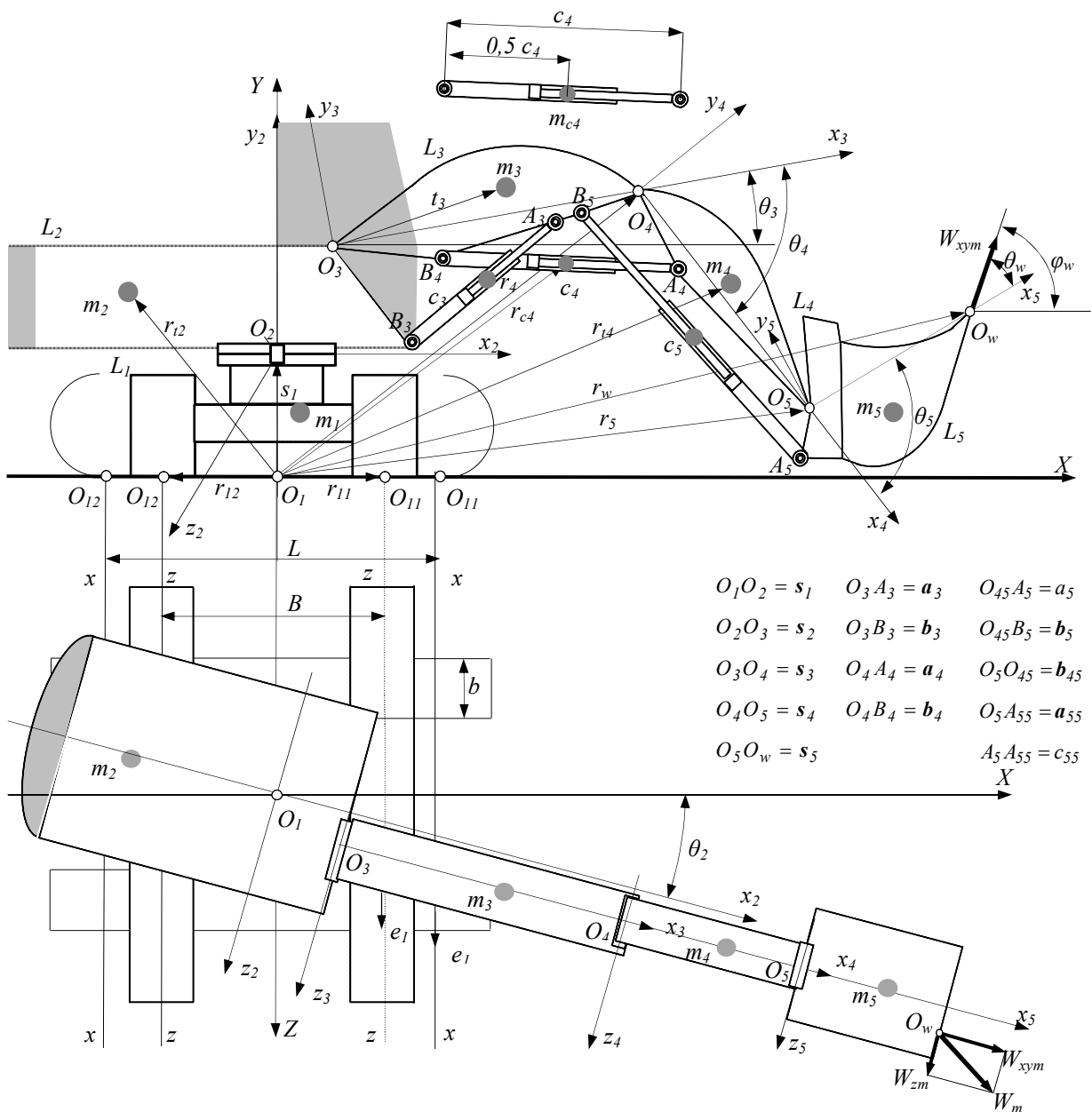
4.1.1.2. Модели погонских механизма манипулатора. -

C_i

$$C_i = C_{ci} \cup C_{pi} \quad \forall i = 3,4,5 \quad (4.13)$$

: C_{ci} -

, C_{pi} -



Сл. 4.8. Математички модели за одређивање еквивалентних оптерећења аксијалног лежаја погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера са утоварним манипулатором [60]

:

$$C_{ci} = \{d_{i1}, d_{i2}, c_{ip}, c_{ik}, m_{ci}, n_{ci}\} \quad \forall i = 3, 4, 5 \quad (4.14)$$

: d_{i1}, d_{i2} - ; c_{ip} -
 ; c_{ik} -
 , m_{ci} - ; n_{ci} - p -

C_3, C_4, C_5 -
 :

$$C_{pi} = \{\hat{a}_i, \hat{b}_i\} \quad \forall i = 3, 4, 5 \quad (4.15)$$

: \hat{a}_i, \hat{b}_i - ,
 (.4.9).

4.3.1.2. Геометријске величине модела. -

()
 θ_i (.4.9) -

L_i L_{i-1}

O_i .

е а е о а а а о е а а е а, е е а а а оо а а о е а а о о о -
 е о а а, , а е о :

$$\theta_1 = \varphi_1 = 0 \quad (4.16)$$

$$\theta_2 = \varphi_2 = 0^\circ \vee \theta_2 = \varphi_2 = 90^\circ \quad (4.17)$$

x-x z-z (.4.8).

$c_i (i=3,4,5)$, -
 $c_i = [c_{ip}, c_{ck}]$, θ_i
 , $\theta_i = [\theta_{ip}, \theta_{ik}]$, : θ_{ip} - θ_{ik} -
 L_i L_{i-1} .
 θ_3 L_3

L_2 c_3 (.4.9) [70]:

$$\theta_3 = \alpha_3 + \beta_3 + \gamma_3 = f_3(c_3) \quad (4.18)$$

:

$$\alpha_3 = -\arccos \frac{\widehat{a}_3 \cdot \widehat{i}_3}{a_3}, \quad \beta_3 = -\arccos \frac{\widehat{b}_3 \cdot \widehat{i}_2}{b_3}, \quad \gamma_3 = \arccos \frac{b_3^2 + a_3^2 - c_3^2}{2a_3b_3} \quad (4.19)$$

$$\theta_4 \quad L_4$$

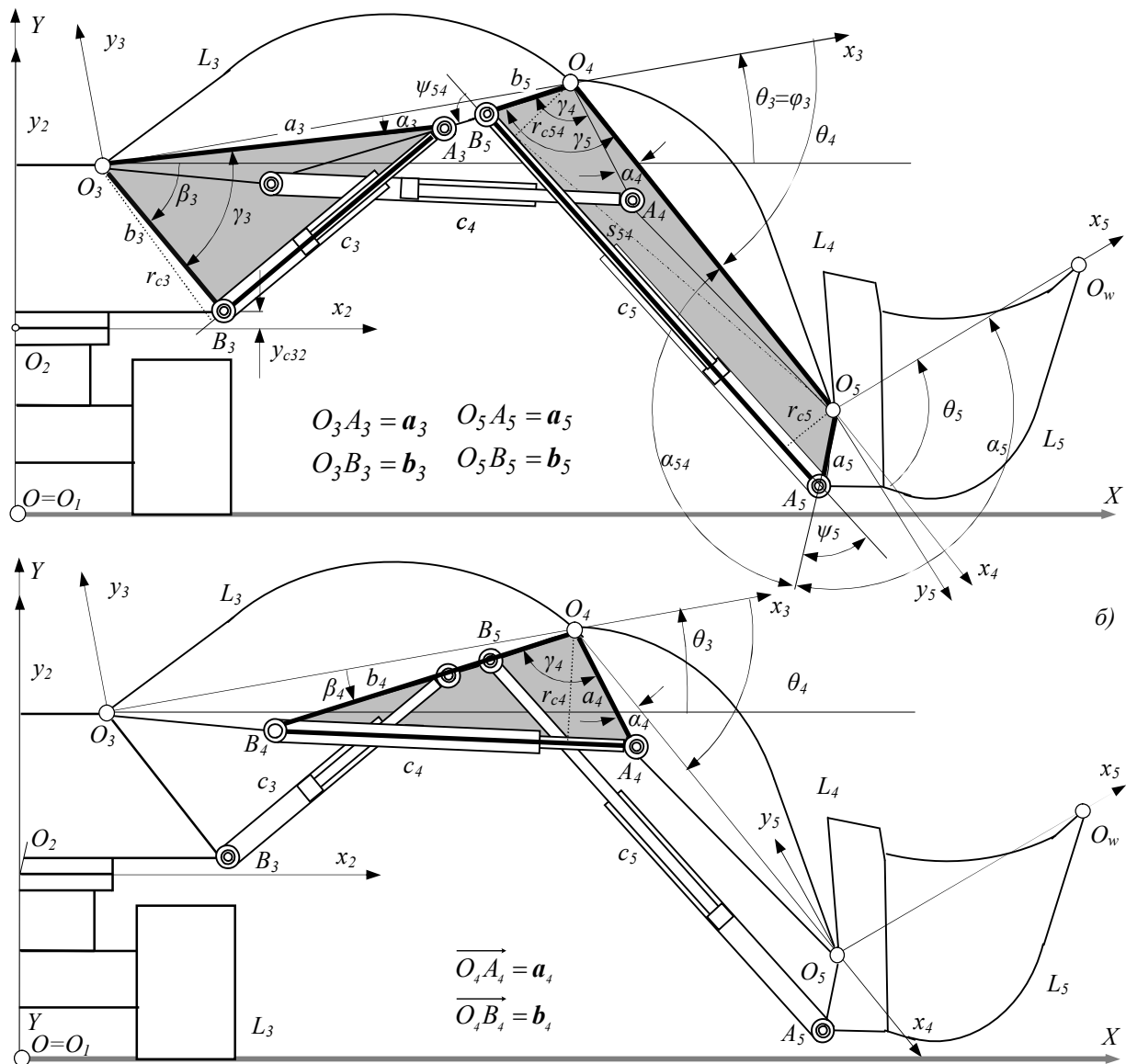
$$L_3 \quad c_4 \quad (4.9):$$

$$\theta_4 = -2\pi + \alpha_4 + \beta_4 - \gamma_4 = f_4(c_4) \quad (4.20)$$

:

$$\alpha_4 = -\arccos \frac{\widehat{a}_4 \cdot \widehat{i}_4}{a_4}, \quad \beta_4 = -\arccos \frac{\widehat{b}_4 \cdot \widehat{i}_3}{b_4}, \quad \gamma_4 = -\arccos \frac{b_4^2 + a_4^2 - c_4^2}{2b_4 \cdot a_4} \quad (4.21)$$

$$\theta_5 \quad L_5$$



Сл.4.9 Ммодели погонских механизма багера са утоварним манипулятором

L_4

c_4

c_5

(.4.9) [70]:

$$\theta_5 = \alpha_{54} + \alpha_5 - \pi = f_5(c_4, c_5) \quad (4.22)$$

:

$$\alpha_{54} = \arccos \frac{s_4^2 + s_{54}^2 - b_5^2}{2s_4s_{54}} + \arccos \frac{a_5^2 + s_{54}^2 - c_5^2}{2a_5s_{54}}, \quad s_{54} = b_5^2 + s_4^2 - 2b_5 \cdot s_4 \cos \gamma_5 \quad (4.23)$$

$$\gamma_5 = \gamma_4 + \alpha_4, \quad \alpha_5 = \pi - \arccos \frac{\hat{a}_5 \cdot \hat{i}_5}{a_5} \quad (4.24)$$

:

$$\varphi_i = \sum \theta_i, \quad \forall i = 3, 4, 5 \quad (4.25)$$

O_i

L_i

e_i

,

r_i

,

r_w

r_{ti}

3.2.2.1 3.2.2.2.

(.4.8)

$Ox_iy_iz_i$

$OXYZ,$

$T4.1$

Табела Т4.1 Трансформационе матрице математичког модела багера

A_{1o}	A_{2o}	$A_{io} \quad \forall i = 1, \dots, 7$
$\begin{vmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 & -\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \cos \varphi_i \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_i \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 \\ \cos \varphi_i \sin \varphi_2 & -\sin \varphi_i \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 \end{vmatrix}$

4.3.1.3. Граничне силе отпора копања. -

$$W_m \quad (.4.8)$$

W_{xym}

W_{zm}

OXZ

W_{xym}

$$\varphi_w = \varphi_5 + \theta_w \quad (4.26)$$

: θ_w -

O_5x_5

$L_5.$

W_{xym}

$$\text{ort } W_{xym} = \cos \varphi_w \cdot \cos \theta_2 \mathbf{i} + \sin \varphi_w \mathbf{j} + \sin \theta_2 \mathbf{k} \quad (4.27)$$

W_{pm}

W_{sm}

$e \quad e_0$

$W_{3m},$

W_{4m}

$W_{5m}.$

W_{sm}

$\text{ort } W_{xym},$

O_{11}, O_{12}

(4.10) [86]:

$$W_{sm} = \begin{cases} W_{sm11} = \frac{-M_{o11}}{((\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_{11}) \times \text{ort } W_{xym}) \cdot \mathbf{e}_1}, & \begin{cases} \forall y_w > 0, \varphi_{12} > \varphi_w > \varphi_{11} + \pi \\ \forall y_w < 0, \varphi_{11} > \varphi_w > \varphi_{12} - \pi \end{cases} \\ W_{sm12} = \frac{-M_{o12}}{((\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_{12}) \times \text{ort } W_{xym}) \cdot \mathbf{e}_1}, & \begin{cases} \forall y_w > 0, \varphi_{12} + \pi > \varphi_w > \varphi_{11} \\ \forall y_w < 0, \varphi_{11} - \pi > \varphi_w > \varphi_{12} \end{cases} \end{cases} \quad (4.28)$$

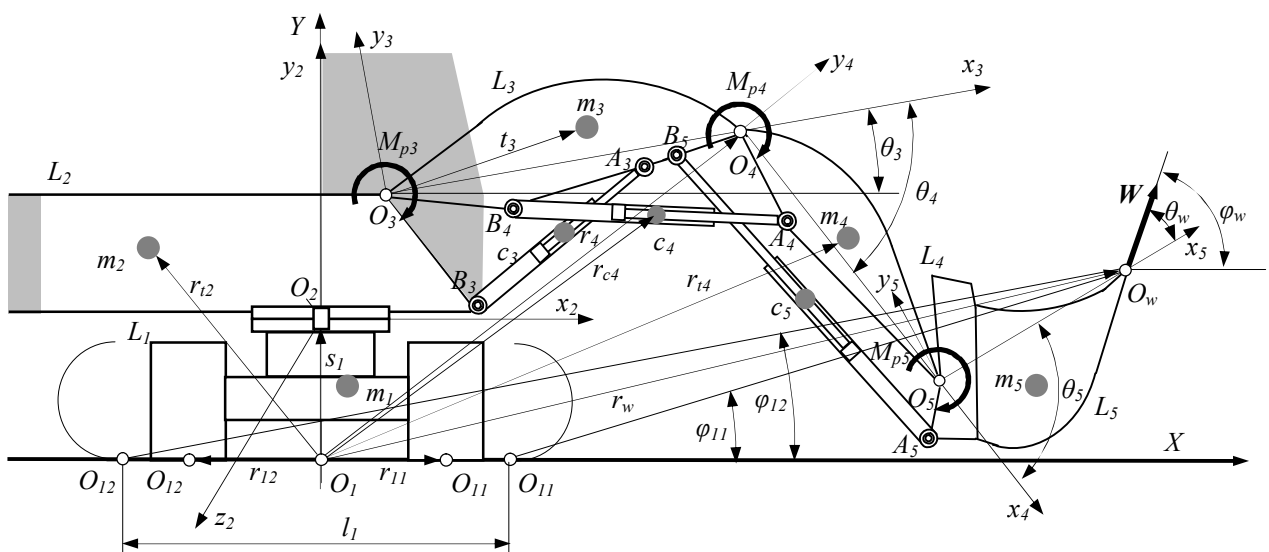
je: M_{sm11}, M_{sm12} -

$x-x$

$z-z$

, $\mathbf{r}_{11}, \mathbf{r}_{12}$ -

$O_{11}, O_{12}, \mathbf{e}_1$ -



Сл.4.10 Математички модел багера са утоварним манипулатором за одређивање граничних и могућих сила отпора копања

$O_{11}, O_{12}, \varphi_{11}, \varphi_{12}$

(.4.10):

$$\varphi_{11} = \arccos\left(\frac{(\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_{11}) \cdot \mathbf{i}}{|\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_{11}|}\right), \quad \varphi_{12} = \arccos\left(\frac{(\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_{12}) \cdot \mathbf{i}}{|\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_{12}|}\right) \quad (4.29)$$

$x-x$

$z-z$

:

$$M_{oi} = \begin{cases} M_{o11} = -g \sum_{k=1}^{k=5} m_k ((\mathbf{r}_{tk} - \mathbf{r}_{11}) \times \mathbf{j}) \cdot \mathbf{e}_1 - g \sum_{k=3}^{k=5} m_{ck} ((\mathbf{r}_{ctk} - \mathbf{r}_{11}) \times \mathbf{j}) \cdot \mathbf{e}_1 - \\ \quad - g m_z ((\mathbf{r}_{15} - \mathbf{r}_{11}) \times \mathbf{j}) \cdot \mathbf{e}_1 \\ M_{o12} = -g \sum_{k=1}^{k=5} m_k ((\mathbf{r}_{tk} - \mathbf{r}_{12}) \times \mathbf{j}) \cdot \mathbf{e}_1 - g \\ \quad - g \sum_{k=3}^{k=5} m_{ck} ((\mathbf{r}_{ctk} - \mathbf{r}_{12}) \times \mathbf{j}) \cdot \mathbf{e}_1 - g m_z ((\mathbf{r}_{15} - \mathbf{r}_{12}) \times \mathbf{j}) \cdot \mathbf{e}_1 \end{cases} \quad (4.30)$$

: \mathbf{r}_{ctk} -

, m_z -

e:

$$m_z = \begin{cases} \rho_z V |\cos \varphi_5| & \forall 270^\circ < \varphi_5 < 90^\circ \\ 0 & \forall 270^\circ \geq \varphi_5 \geq 90^\circ \end{cases} \quad (4.31)$$

: ρ_z -

, V -

W_{pm}

:

$$W_{pm} = \frac{mg \cdot \mu_p}{|\cos \varphi_w|} \quad (4.32)$$

: m -

, μ_p -

W_{im}

($i=3$)

($i=5$)

,

$ortW_m$

M_{pimax} ,

$O_i (i=3,5)$

(.4.10):

$$W_{im} = \frac{-M_{pi\max} - M_{oi}}{((\mathbf{r}_w - \mathbf{r}_i) \times ortW_{xym}) \cdot \mathbf{e}_i} \quad \forall i = 3,5 \quad (4.33)$$

M_{oi} -

O_i .

$$M_{oi} = M_{oig} + M_{oic} + M_{oiz} \quad \forall i = 3,4,5 \quad (4.34)$$

: M_{oig} -
 O_i, M_{oic} -
 M_{oiz} - O_i .

$$M_{oig} = -g \sum_{k=i}^{k=5} m_k ((r_{tk} - r_i) \times j) \cdot e_i \quad \forall i = 3,4,5 \quad (4.35)$$

: e_i -
 M

O_i [87][88]:

$$M_{oic} = \begin{cases} M_{oc3} = -g \frac{n_{c3} m_{c3}}{2} ((r_{A3} - r_3) \times j) \cdot e_3 - g \sum_{k=4}^{k=5} n_{ck} m_{ck} ((r_{ctk} - r_3) \times j) \cdot e_3 \quad \forall i=3 \\ M_{oc4} = -g \frac{n_{c4} m_{c4}}{2} ((r_{A4} - r_4) \times j) \cdot e_4 - g \frac{n_{c5} m_{c5}}{2} ((r_{A5} - r_4) \times j) \cdot e_4 \quad \forall i=4 \\ M_{oc5} = -g \frac{m_{c5}}{2} ((r_{A5} - r_5) \times j) \cdot e_5 \quad \forall i=5 \end{cases} \quad (4.36)$$

e je: r_{A3}, r_{A4}, r_{A5} - oo a e o o a o j a e o a e j a a o e
e a o a a (.4.10).

O_i

:

$$M_{oiz} = -g m_z ((r_{t5} - r_r) \times j) \cdot e_i \quad \forall i = 3,4,5 \quad (4.37)$$

: m_z -

M_{pimax}

():

$$M_{pimax} = \begin{cases} M_{pi1max} = \text{sign}(\dot{\theta}_i) \cdot r_{ci}^M \cdot n_{ci} \frac{d_{i1}^2 \pi}{4} p_{max} \quad \forall i = 3,4,5 \quad \dot{\theta}_3 > 0, \dot{\theta}_4 > 0, \dot{\theta}_5 > 0 \\ M_{pi2max} = \text{sign}(\dot{\theta}_i) \cdot r_{ci}^M \cdot n_{ci} \frac{(d_{i1}^2 - d_{i2}^2) \pi}{4} p_{max} \quad \forall i = 3,4,5 \quad \dot{\theta}_3 < 0, \dot{\theta}_4 < 0, \dot{\theta}_5 < 0 \end{cases} \quad (4.38)$$

: $i_{ci}^M = r_{ci}$ -

L_i

$L_i, \dot{\theta}_i$ - e e

O_i, p_{max} -

$c_3 \ c_4) \quad O_3 \ O_4 \quad (4.10):$

$$i_{c3}^M = r_{c3} = a_3 \frac{b_3}{c_3} \sin \gamma_3, \quad i_{c4}^M = r_{c4} = a_4 \frac{b_4}{c_4} \sin \gamma_4 \quad (4.39)$$

$c_5) \quad O_5 \quad (4.10):$

$$i_{c5}^M = r_{c5} = a_5 \sin \psi_5 \quad (4.40)$$

$$: \quad \psi_5 = \arccos \frac{a_5^2 + c_5^2 - s_{54}^2}{2a_5c_5} \quad (4.41)$$

W_{4m}
 $ortW_{xym}$
 $M_{p4max},$
 $O_4 \ O_5, \quad (4.10):$

$$W_{4m} ((r_w - r_4) \times ortW_{xym}) \cdot e_4 + F_{c54} \cdot r_{c54} + M_{o4} + M_{p4max} = 0 \quad (4.42)$$

$: r_{c54} - \quad O_4,$
 $F_{c54} - \quad W_{4m}.$

$c_5) \quad O_4 \quad (4.10) \quad [70]:$

$$i_{c54}^M = r_{c54} = b_5 \sin \psi_{54} \quad (4.43)$$

$$: \quad \psi_{54} = \arccos \frac{s_{54}^2 + b_5^2 - s_4^2}{2s_{54}b_5} + \arccos \frac{s_{54}^2 + c_5^2 - a_5^2}{2s_{54}c_5} \quad (4.44)$$

$$O_5 \quad W_{4m}: \quad W_{4m} ((r_w - r_5) \times ortW_{xym}) \cdot e_5 + F_{c54} \cdot r_{c5} + M_{o5} = 0 \quad (4.45)$$

$$: \quad F_{c54} = \frac{-W_{4m} ((r_w - r_5) \times ortW_{xym}) \cdot e_5 - M_{o5}}{r_{c5}} \quad (4.46)$$

$$F_{c54} \quad (4.42) \quad W_{4m}:$$

$$W_{4m} = \frac{-r_{c5}(M_{p4max} + M_{o4}) + r_{c54}M_{o5}}{r_{c5}((r_w - r_4) \times ortW_{xym}) \cdot e_4 - r_{c54}((r_w - r_5) \times ortW_{xym}) \cdot e_5} \quad (4.47)$$

4.3.2. Математички модел багера са дубинским манипулятором

3.3.

(е 3.2.1).

L_i

(3.3).

C_i

C_i

(3.21).

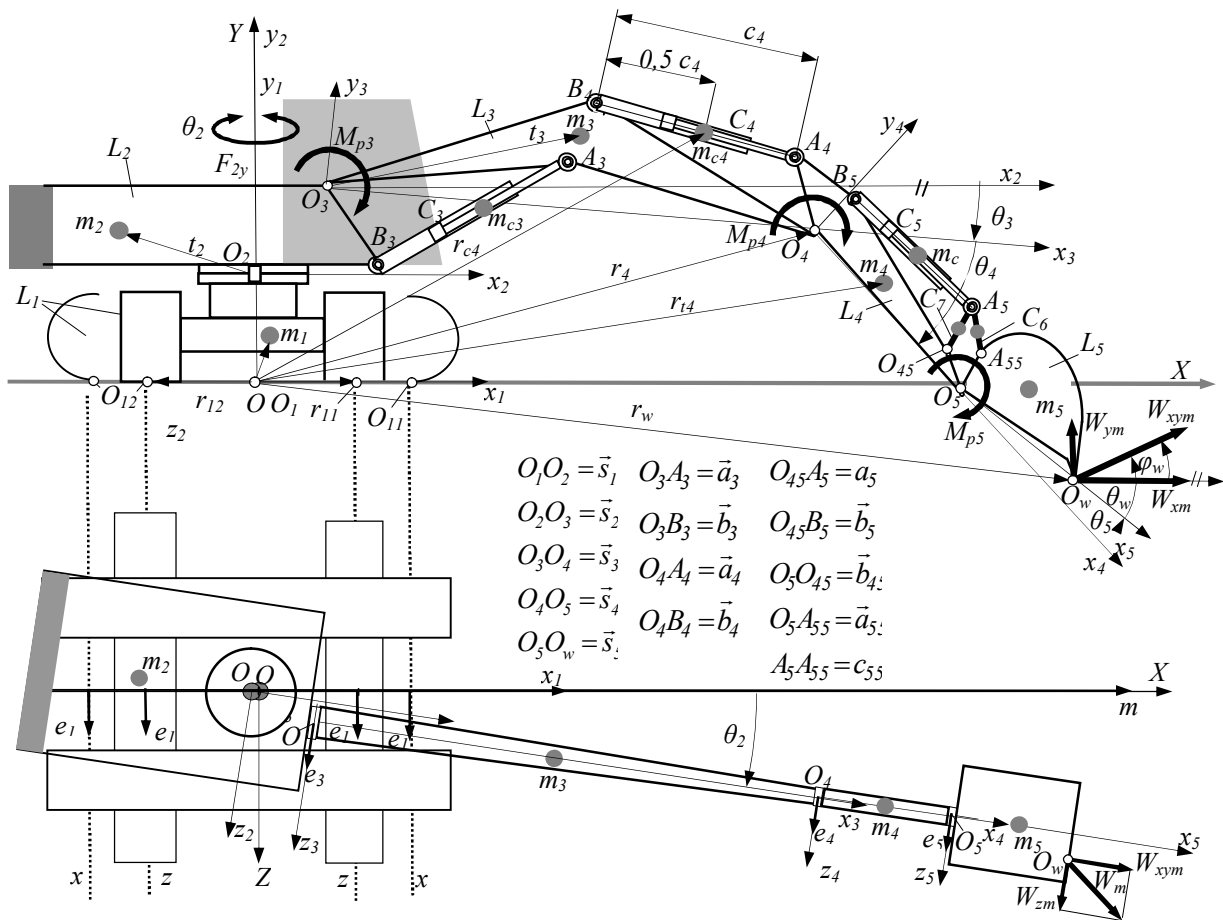
C_{p5}

(4.11):

$$C_{p5} = \{a_5, c_{55}, \bar{a}_{55}, \bar{b}_{45}, m_{c6}, m_{c7}\} \quad (4.48)$$

a_5

c_{55}



Сл. 4.11 Математички модел за одређивање еквивалентних оптерећења аксијалног лежаја погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера са дубинским манипулятором [70]

$$, \widehat{a}_{55}, \widehat{b}_{45} -$$

$$, m_{c6} -$$

$$, m_{c7} -$$

4.3.2.1. Геометријске величине модела. -

$$(\theta_2 = \varphi_2), \quad (\theta_3 = \varphi_3) \quad (\theta_4, \varphi_4)$$

$$(\theta_1 = \varphi_1),$$

(4.3.1.2.)

$$C_5 \quad c_5$$

$$C_6 \quad C_7,$$

$$\theta_5 \quad L_5 \quad -$$

$$- \quad L_4 \quad c_5 \quad -$$

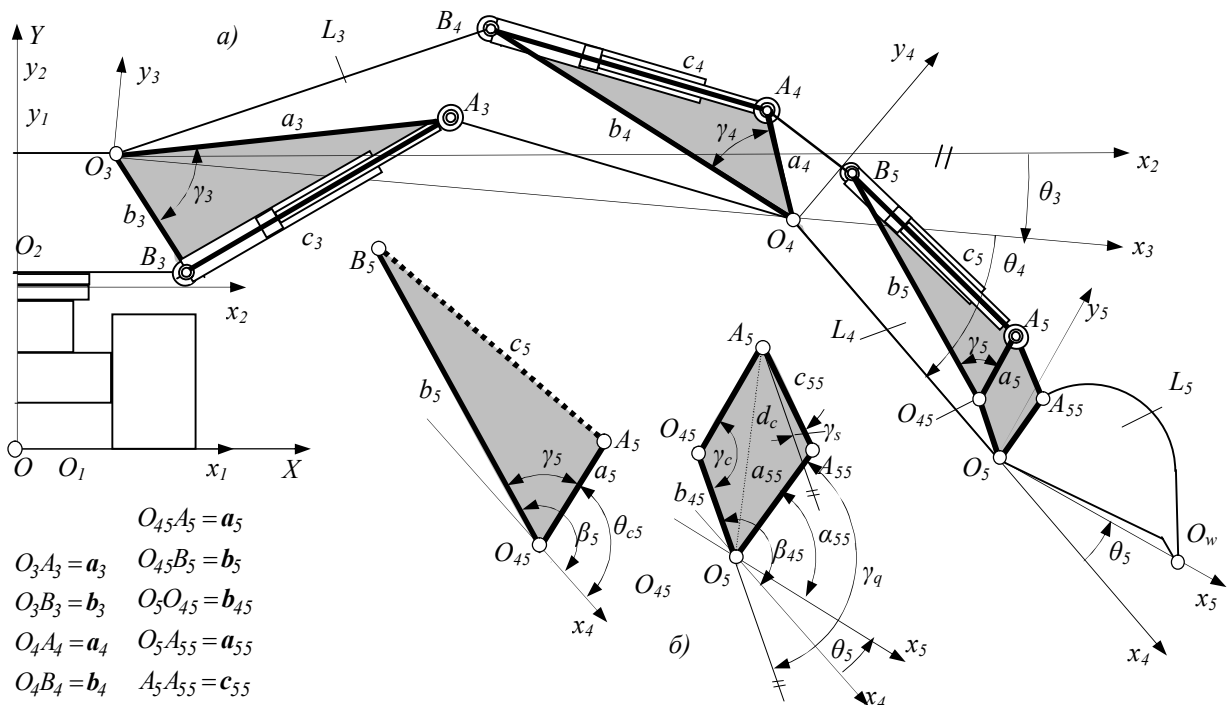
(.4.12):

$$\theta_5 = \gamma_q - \alpha_{55} - (\pi - \beta_{45}) \quad (4.49)$$

$$\gamma_q = \pi - \left(\arccos \frac{b_{45}^2 + d_c^2 - a_5^2}{2b_{45}d_c} + \arccos \frac{a_{55}^2 + d_c^2 - c_{55}^2}{2a_{55}d_c} \right) \quad (4.50)$$

$$d_c = (b_{45}^2 + a_5^2 - 2b_{45}a_5 \cos \gamma_c)^{0.5}, \quad \gamma_c = \pi + \beta_5 - (\gamma_5 + \beta_{45}) \quad (4.51)$$

$$\beta_5 = \arccos \frac{(\widehat{i}_4 \cdot \widehat{b}_5)}{b_5}, \quad \gamma_5 = \arccos \frac{a_5^2 + b_5^2 - c_5^2}{2a_5b_5}, \quad \beta_{45} = \arccos \frac{(\widehat{i}_4 \cdot \widehat{b}_{45})}{b_{45}} \quad (4.52)$$



Сл.4.12 Модели погонских механизма дубинског манипулатора багера: а) стреле и руке, б) кашике

4.3.2.2. Граничне силе отпора копања. -

(4.3.1.3.).

$$a \quad a \quad W_{sm} \quad 4.28, \quad -$$

$$x-x \quad z-z$$

:

$$M_{o1} = \begin{cases} M_{o11} = -g \sum_{k=1}^{k=5} m_k ((r_{tk} - r_{11}) \times j) \cdot e_1 - g \sum_{k=3}^{k=7} m_{ck} ((r_{ctk} - r_{11}) \times j) \cdot e_1 - gm_z ((r_{t5} - r_{11}) \times j) \cdot e_1, \\ M_{o12} = -g \sum_{k=1}^{k=5} m_k ((r_{tk} - r_{12}) \times j) \cdot e_1 - g \sum_{k=3}^{k=7} m_{ck} ((r_{ctk} - r_{12}) \times j) \cdot e_1 - gm_z ((r_{t5} - r_{12}) \times j) \cdot e_1 \end{cases} \quad (4.53)$$

,

:

$$m_z = \begin{cases} \rho_z \cdot V \cdot |\cos \phi_5| & \forall 270^\circ \geq \phi_5 \geq 90^\circ \\ 0 & \forall 270^\circ < \phi_5 < 90^\circ \end{cases} \quad (4.54)$$

: ρ_z - , V - , ϕ_5 - .

W_{im}

($i=3$), ($i=4$) ($i=5$) ,

4.33, :

)

[70]:

$$M_{oic} = \begin{cases} M_{o3c} = -g \frac{n_{c3} m_{c3}}{2} ((r_{A3} - r_3) \times j) \cdot e_3 - g \sum_{k=4}^{k=7} n_{ck} m_{ck} ((r_{ctk} - r_3) \times j) \cdot e_3 & \forall i = 3 \\ M_{o4c} = -g \frac{n_{c4} m_{c4}}{2} ((r_{A4} - r_4) \times j) \cdot e_4 - g \sum_{k=5}^{k=7} n_{ck} m_{ck} ((r_{ctk} - r_4) \times j) \cdot e_4 & \forall i = 4 \\ M_{o5c} = -g \frac{m_{c6}}{2} ((r_{A5} - r_5) \times j) \cdot e_5 & \forall i = 5 \end{cases} \quad (4.55)$$

)

M_{pimax}

() [70]:

$$M_{pi} = \begin{cases} M_{pi1} = \text{sign}(\dot{\theta}_i) \cdot i_{ci}^M \cdot n_{ci} \cdot \left[\frac{d_{i1}^2 \pi}{4} p_m - \frac{(d_{i1}^2 - d_{i2}^2) \pi}{4} p_o \right] \cdot \eta_{ci} & \forall i = 3,4,5; \dot{\theta}_3 > 0, \dot{\theta}_4 < 0, \dot{\theta}_5 > 0 \\ M_{pi2} = \text{sign}(\dot{\theta}_i) \cdot i_{ci}^M \cdot n_{ci} \cdot \left[\frac{(d_{i1}^2 - d_{i2}^2) \pi}{4} p_m - \frac{d_{i1}^2 \pi}{4} p_o \right] \cdot \eta_{ci} & \forall i = 3,4,5; \dot{\theta}_3 < 0, \dot{\theta}_4 > 0, \dot{\theta}_5 < 0, \end{cases} \quad (4.56)$$

$$i_{ci}^M = r_{ci} - L_i \cdot i_{c3}^M \cdot i_{c4}^M - \quad (4.39)$$

(.4.10).

(.4.11) [70]:

$$i_{c5}^M = r_{c5} = \frac{a_5 b_5 \sin \gamma_5}{c_5} \cdot \frac{a_{55} \sin(\gamma_s - \gamma_q)}{a_5 \sin(\gamma_s - \gamma_c)} \quad (4.57)$$

$$\gamma_s = -\pi + \gamma_c + \arccos \frac{a_5^2 + d_c^2 - b_{45}^2}{2a_5 d_c} + \arccos \frac{c_{55}^2 + d_c^2 - a_{55}^2}{2c_{55} d_c} \quad (4.58)$$

4.3.3. Могућа сила отпора копања. -

$$W_m = \sqrt{W_{xym}^2 + W_{zm}^2} \quad (4.59)$$

$$\text{ort } W_m = (\cos \varphi_{wm} \cos \varphi_w \cos \theta_2 - \sin \varphi_w \sin \theta_2) \mathbf{i} + \cos \varphi_{wm} \sin \varphi_w \mathbf{j} + (\cos \varphi_w \cos \varphi_{wm} \sin \theta_2 + \sin \varphi_{wm} \cos \theta_2) \mathbf{k} \quad (4.60)$$

: φ_{wm} -

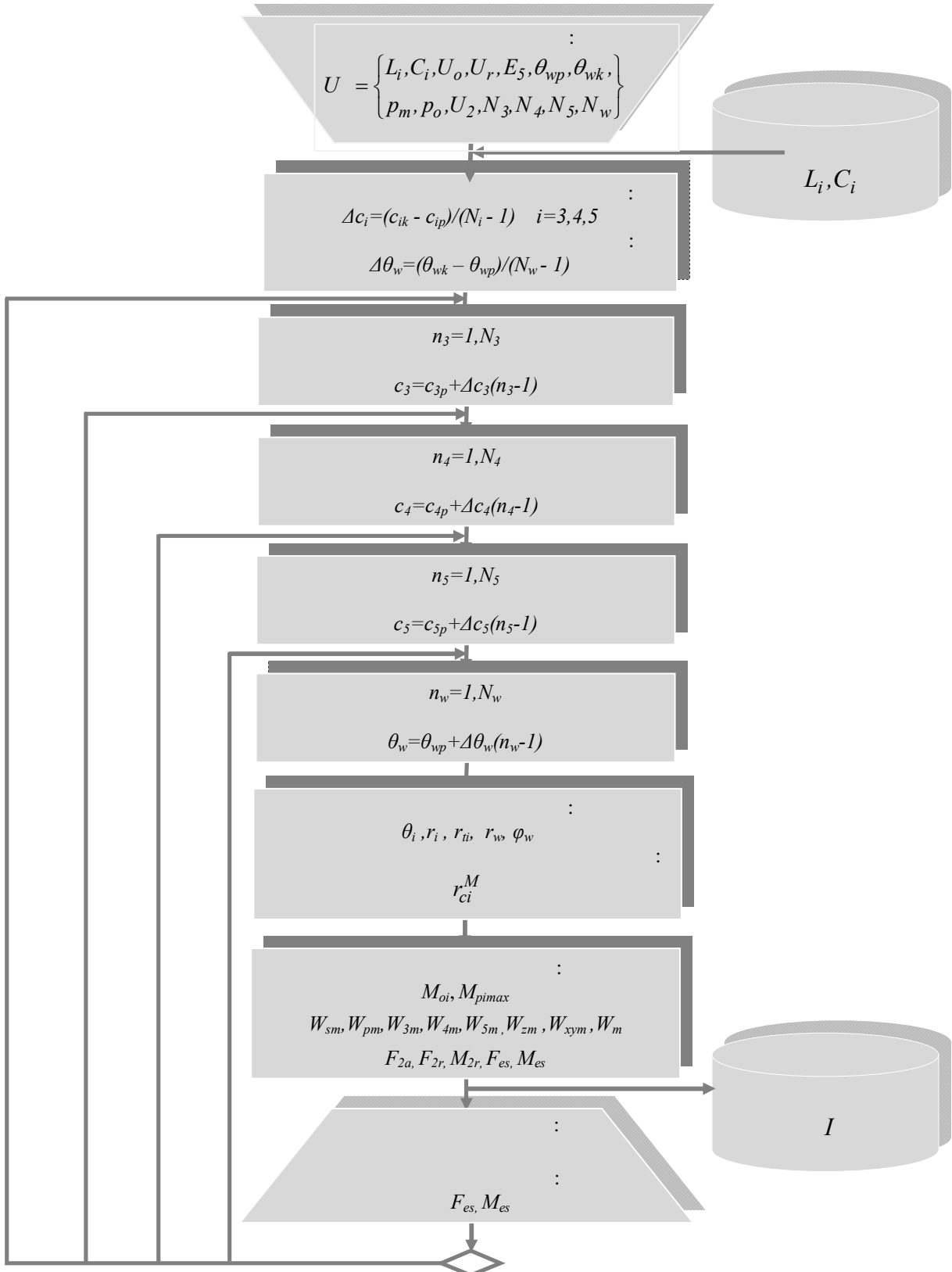
$$\varphi_{wm} = \arctg \frac{W_{zm}}{W_{xym}} \quad (4.61)$$

$$W_{xym} = \min \{W_{sm}, W_{pm}, W_{3m}, W_{4m}, W_{5m}\} \quad (4.62)$$

$$W_{zm} = \left(\mu_o \frac{mg \cdot l_l}{4} + W_{xm} \cdot z_w \right) \cdot \frac{l}{x_w} \quad (4.63)$$

4.3.4 Програм за избор аксијалног лежаја

а о о е о о , а је је о-
 а (.4.13) а о е а е о е е е а о а ја о е а ја о-
 о а о е а а а о е а а е а о о а а а.



Сл. 4.13 Алгоритам програма за анализу оптерећења аксијалног лежаја обртне платформе багера [87]

:

$$U = \{L_i, C_i, U_o, U_r, E_5, \theta_{wp}, \theta_{wk}, p_{max}, U_2, N_3, N_4, N_5, N_w\} \quad (4.64)$$

: L_i - а а е а о а е а о а а а е а, C_i - а а е о о е а а а а о а а е а, U_o, U_r - , E_5 - , θ_{wp} - о е а о а а е о а а о о а о а а, θ_{wk} - а j а о а а е о а а о о а о а а, p_{max} - а а а о а о е а а е а, U_2 - , N_3 - е е о j о о а j а е е а а о а о о е е а а, N_4 - е е о j о о а j а е о о е е а а о е е о о а j е а а о а, N_5 - е е о j о о а j а е о о е е а а, а о е е о о а j е а а о а, N_w - е е о j о е а . а о о а е а, о о е о а а о j е а N_w, N_5, N_4 N_3 , о а о е о е j : а) $\Delta c_i (i=3,4,5)$ - $\Delta \theta_w$,) $c_i (i=3,4,5)$ (θ_w) ,) е о е- j е е е $(\theta_i, r_i, r_{ti}, r_w)$ о j е о о а j е а о о а е а а а е а о а а а е а r_{ci}^M - ,) о е о е е е а M_{oi} о о о е M_{pimax} о о е а а а,) а о о о а а $(W_{sm}, W_{pm}, W_{3m}, W_{4m}, W_{5m})$, W_m ,) (F_{2a}, F_{2r}, M_{2r}) .

N_i

c_{ip} c_{ik}

$$\Delta c_i = \frac{c_{ik} - c_{ip}}{N_i - 1}, \quad i = 3, 4, 5 \quad (4.65)$$

$$\begin{aligned}
 & \theta_{wk} : \theta_{wp} \\
 & N_3 \cdot N_4 \cdot N_5 \cdot N_w \\
 & \Delta \theta_{wi} = \frac{\theta_{wk} - \theta_{wp}}{N_w - 1} \quad (4.66)
 \end{aligned}$$

4.4. СПЕКТРИ ОПТЕРЕЂЕЊА АКСИЈАЛНОГ ЛЕАЖАЈА

$$\begin{aligned}
 & M_{es} \quad F_{es} \\
 & (4.14-4.20)
 \end{aligned}$$

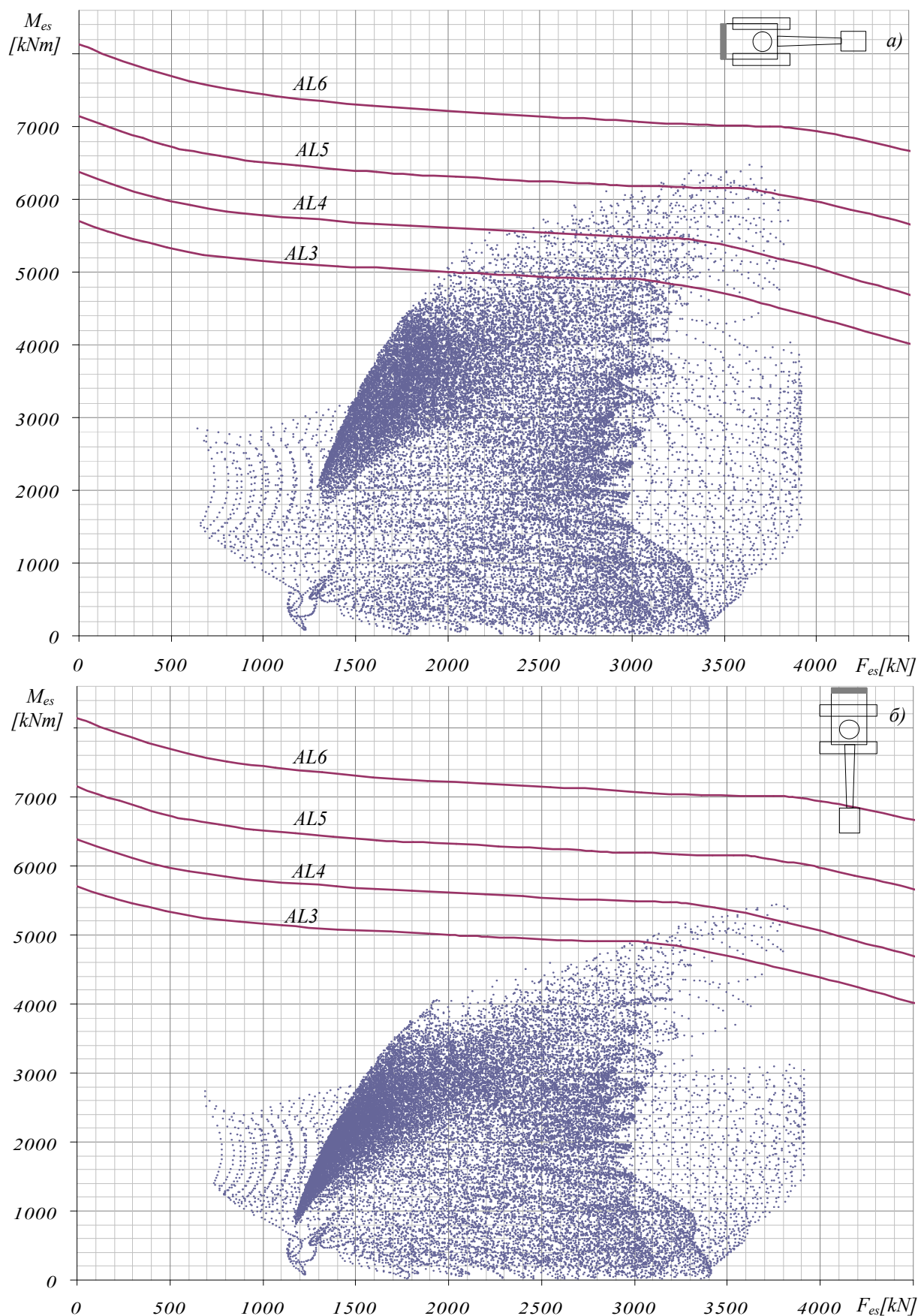
Табела Т4.2 Параметри погонског система услова рада и просторне симулације багера

	Max.							
	μ_p	$\theta_{вр} [^\circ]$	$\theta_{вк} [^\circ]$	$p_{max} [MPa]$	N_3	N_4	N_5	N_w
A, B	0,75	200	300	35	30	20	10	10
C, D,	0,80	30	150	35	30	20	10	10
E, F	0,80	30	150	30	30	20	10	10

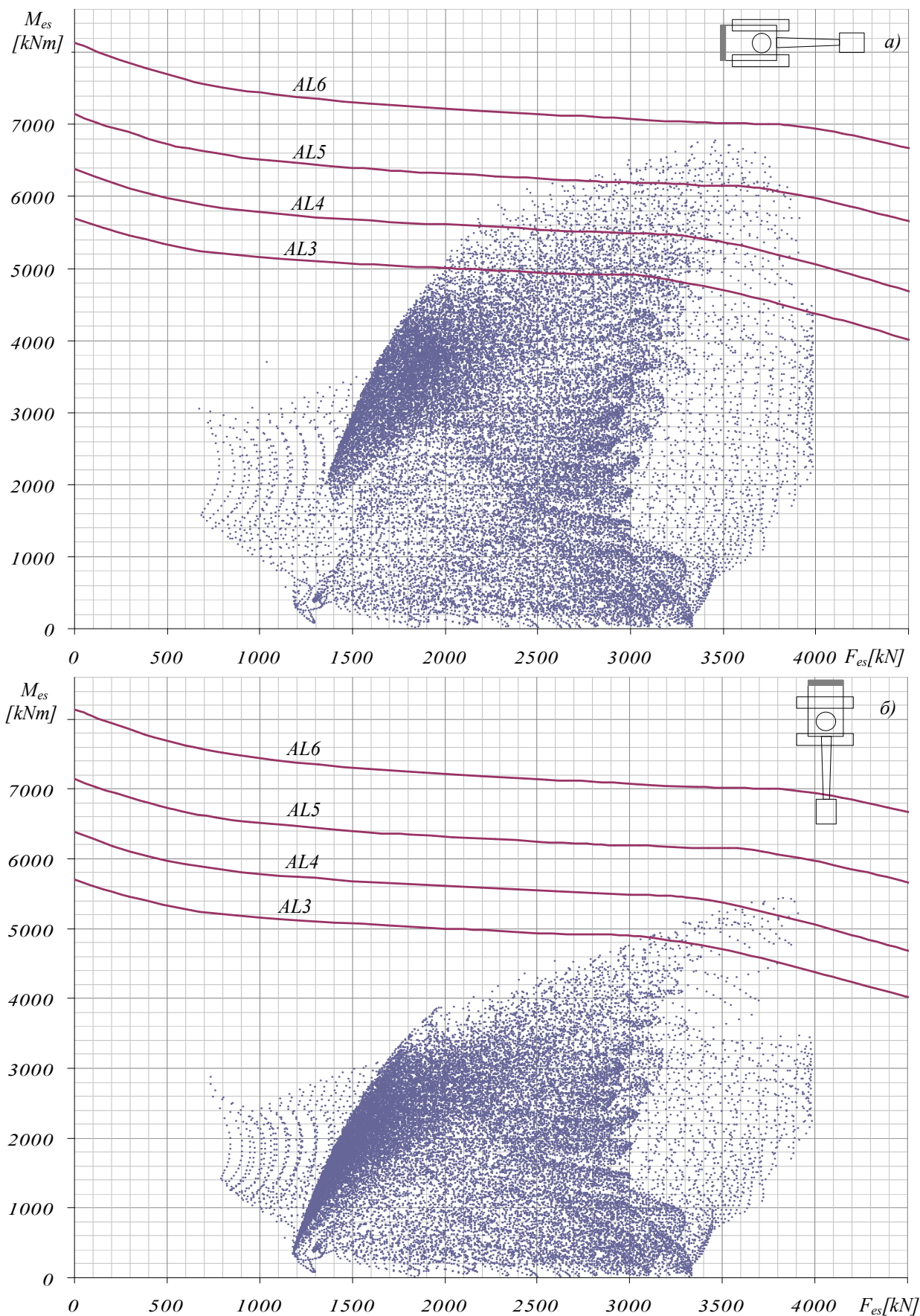
, ,
 : **A B** (2- 8)
C, D, E F (14- 21)
 .
 (4.2): ,
 , max.
 .
 22)
AL1, ... , AL10,
 RotheErde [61].

4.4.1. Анализа утицаја конфигурације кинематичког ланца багера

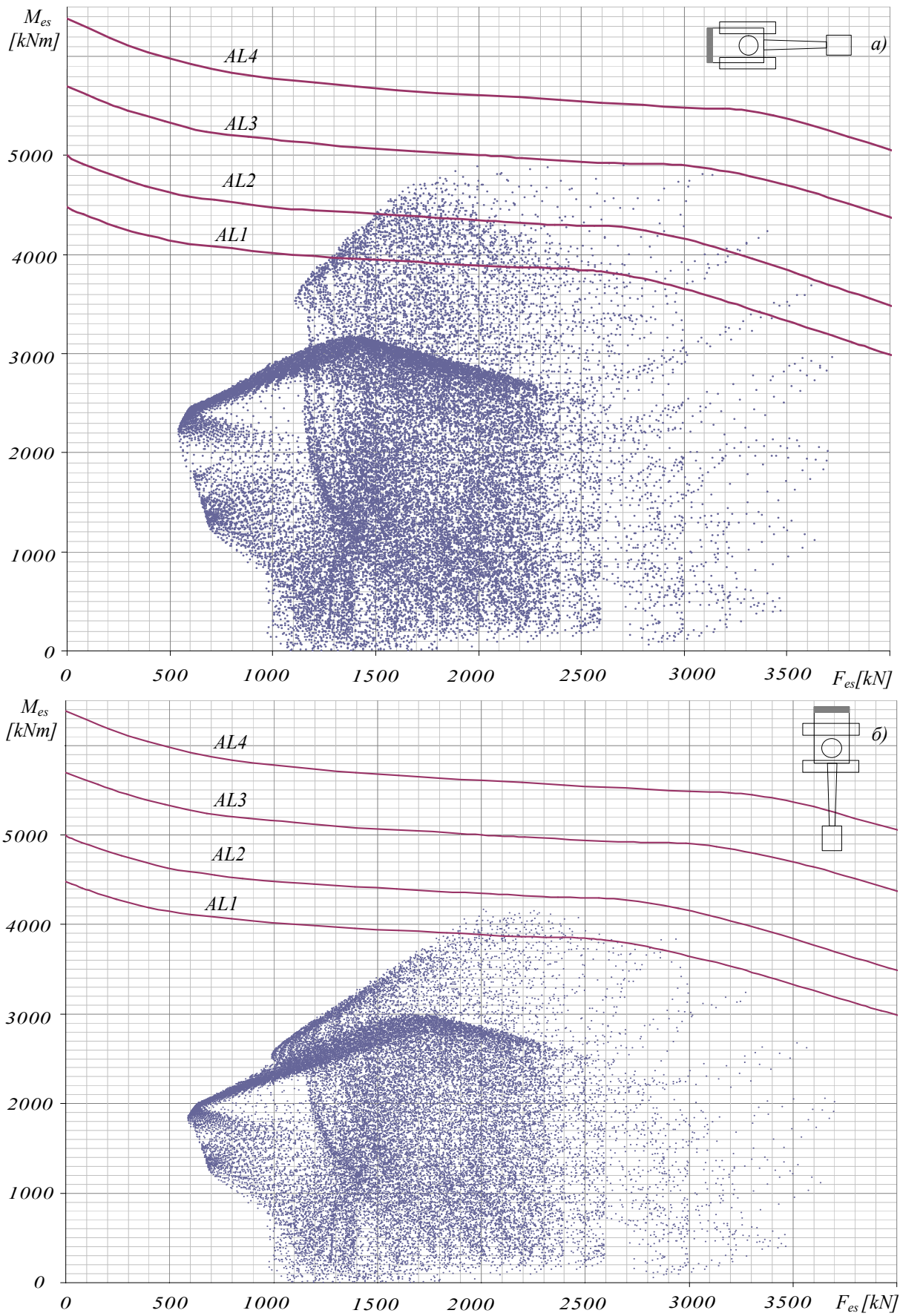
$A B$ (.4.14,
 .4.15) $C D$ (.4.16, .4.17) -
 .
 $A B$ -
 -
 $C D$,
 $A, B, C D,$ (2)
 .
 ,
 180° .
 $A, B, C D$
 : **AL1 ,...**,
AL6 (.4.14a,
 - .4.17a) (.4.14 , - .4.17) - .



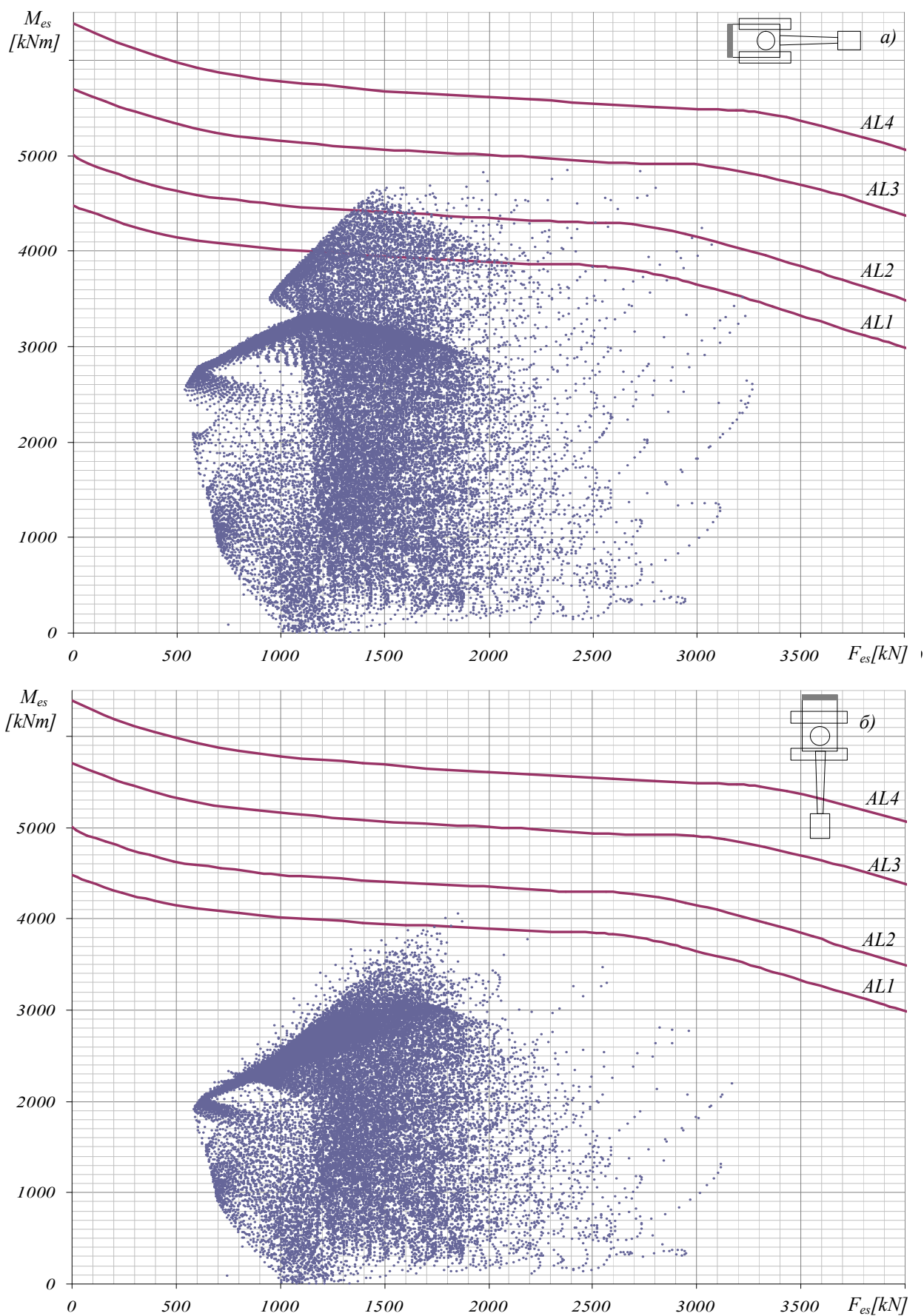
Сл.4.14 Спектри оптерећења аксијалног лежаја модела багера А са утоварним манипулатором запремине кашике $V=4,4 \text{ m}^3$ када је раван манипуалтора нормална на: а) попречну, б) подужну раван ослоно-кретног механизма [87]



Сл.4.15 Спектри оптерећења аксијалног лежаја модела багера **В** са утоварним манипулатором запремине кашике $V=6,5 \text{ m}^3$ када је раван манипуалтора нормална на: а) попречну, б) подужну раван ослоно-кретног механизма [87]



Сл.4.16 Спектри оптерећења аксијалног лежаја модела багера С са дубинским манипулатором и запремином кашике $V=4,8 \text{ m}^3$ када је раван манипулатора нормална на: а) попречну, б) подужну раван осноно-кретног механизма [89]



Сл.4.17 Спектри оптерећења аксијалног лежаја модела багера **D** са дубинским манипулатором и запремином кашике $V=2,0 \text{ m}^3$ када је раван манипулатора нормална на : а) попречу, б) подужну раван осноно-кретног механизма [89]

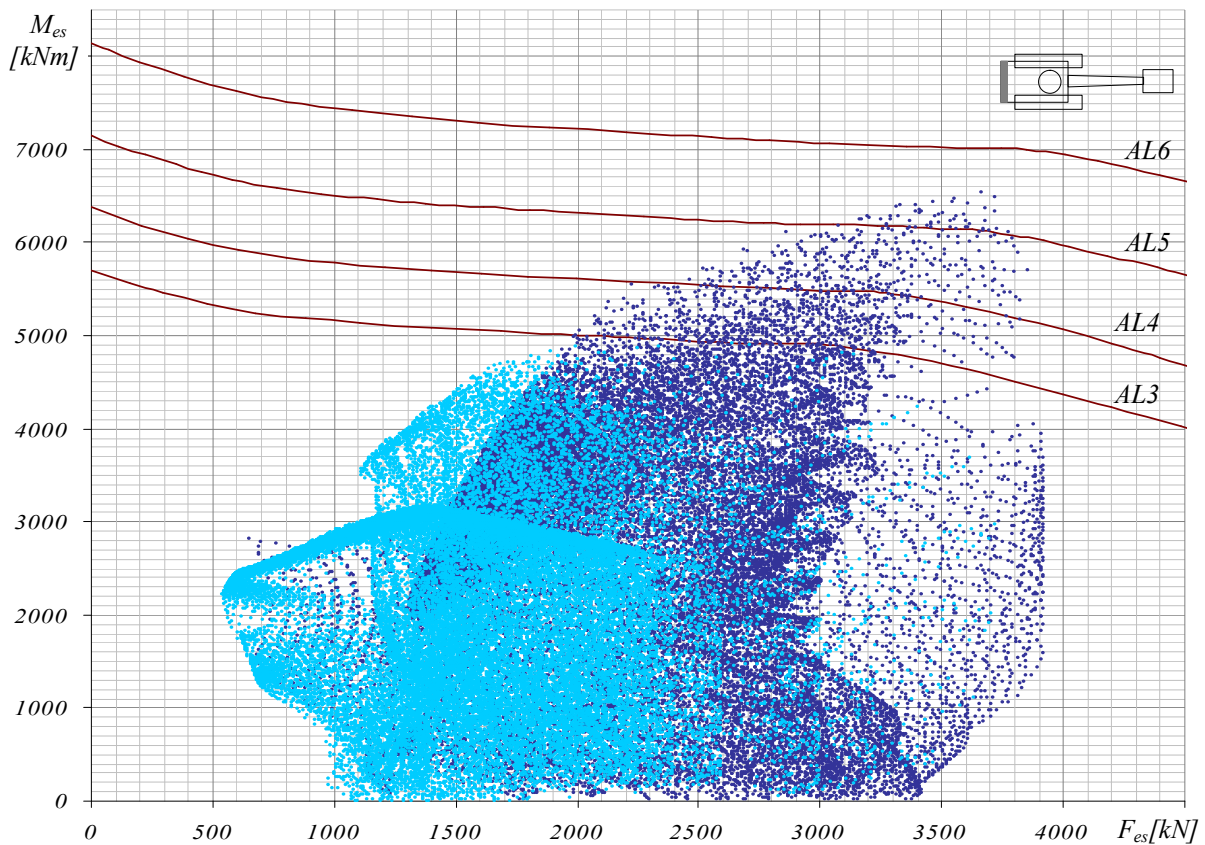
(.4.14 - .4.17)

(.4.18)

A

) **C**

().



Сл.4.18 Поређење спектра оптерећење аксијалног лежаја модела багера **A** са утоварним манипулатором запремине кашике $V=6,5\text{m}^3$ (тамно плава боја) и модела багера **C** са дубинским манипулатором (светло оплава) запремине кашике $V=4,8\text{ m}^3$ [89]

(.4.14-4.17)

(.4.14)

A

$$V=4,4 \text{ m}^3$$

$$\rho=2200 \text{ kg/m}^3$$

AL6,

(.4.15)

$$V=6,5 \text{ m}^3$$

$$\rho=1650 \text{ kg/m}^3,$$

AL5.

(.4.16)

C

$$s_3=7,2m,$$

$$s_4=2,9m$$

$$V=4,8 \text{ m}^3$$

$$\rho=2200 \text{ kg/m}^3,$$

(.4.17)

D

$$s_3=10,5m,$$

$$s_4=5,8m$$

$$V=2,0 \text{ m}^3$$

$$\rho=1800 \text{ kg/m}^3,$$

C

D.

(.4.19 - 4.23) a e

E F

(16000 kg)

E F

E

F

(2.3.1),

E F

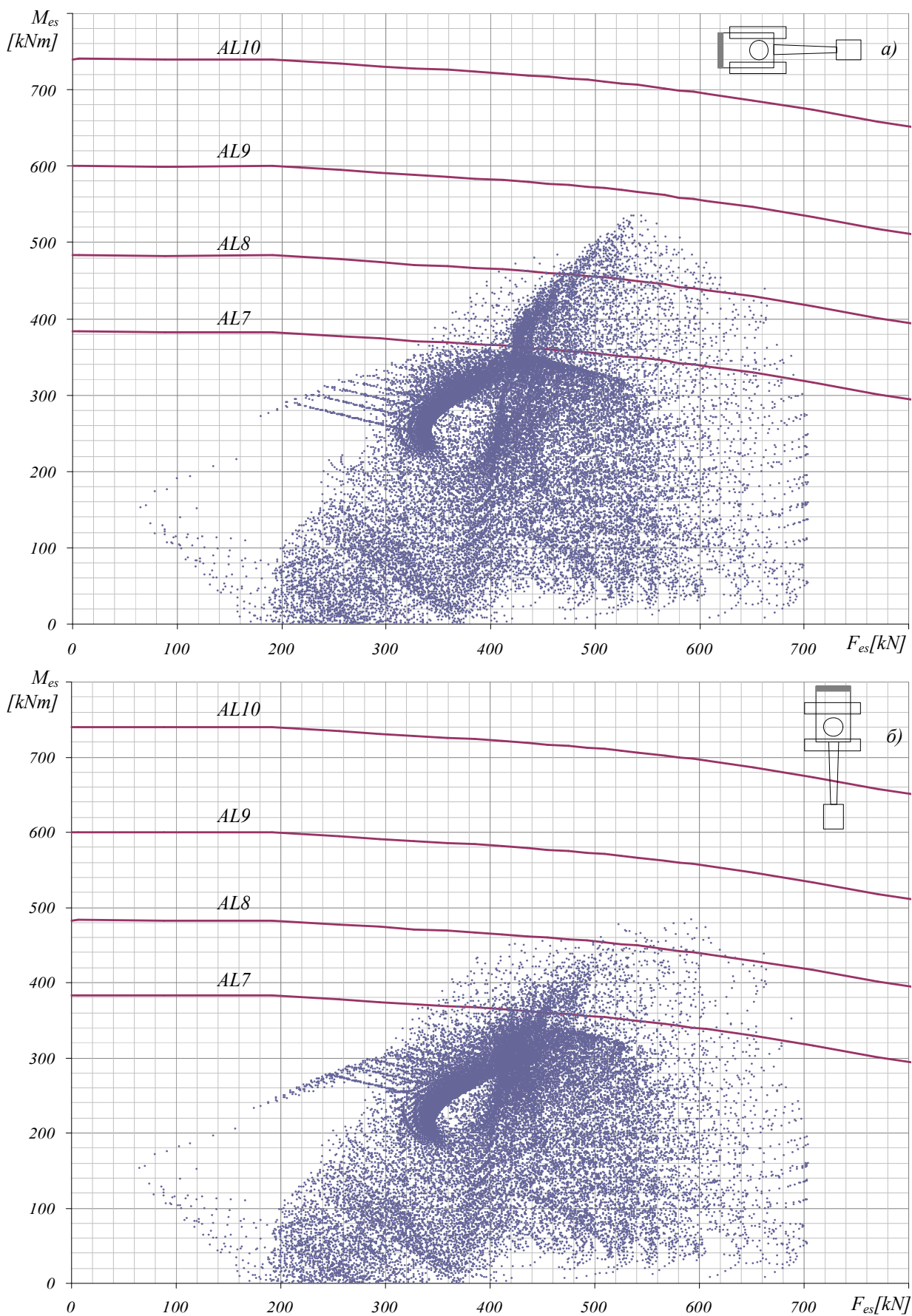
E F

: **AL7 ,..., AL10,**

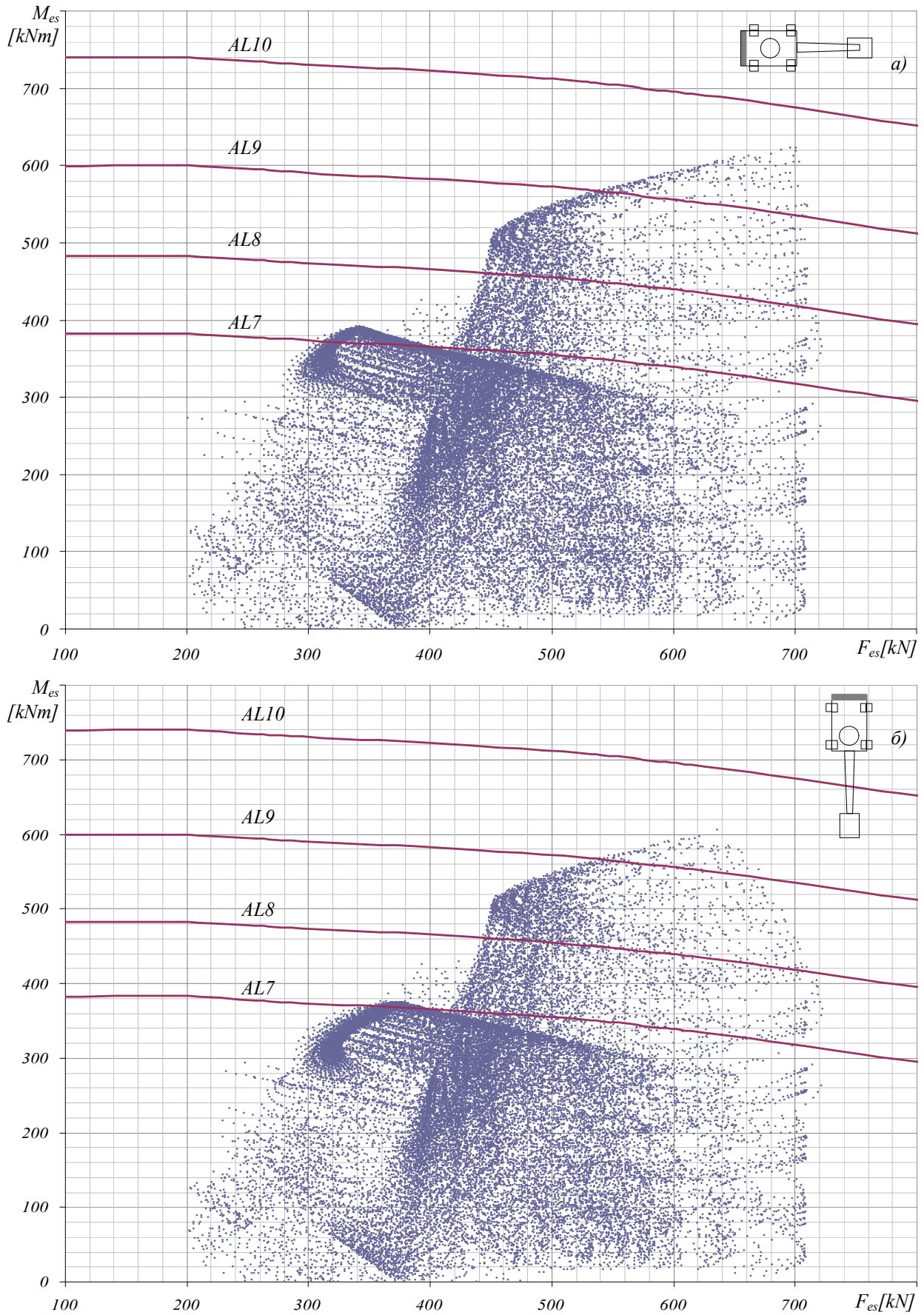
(.4.19 - 4.23)

(.4.19 -

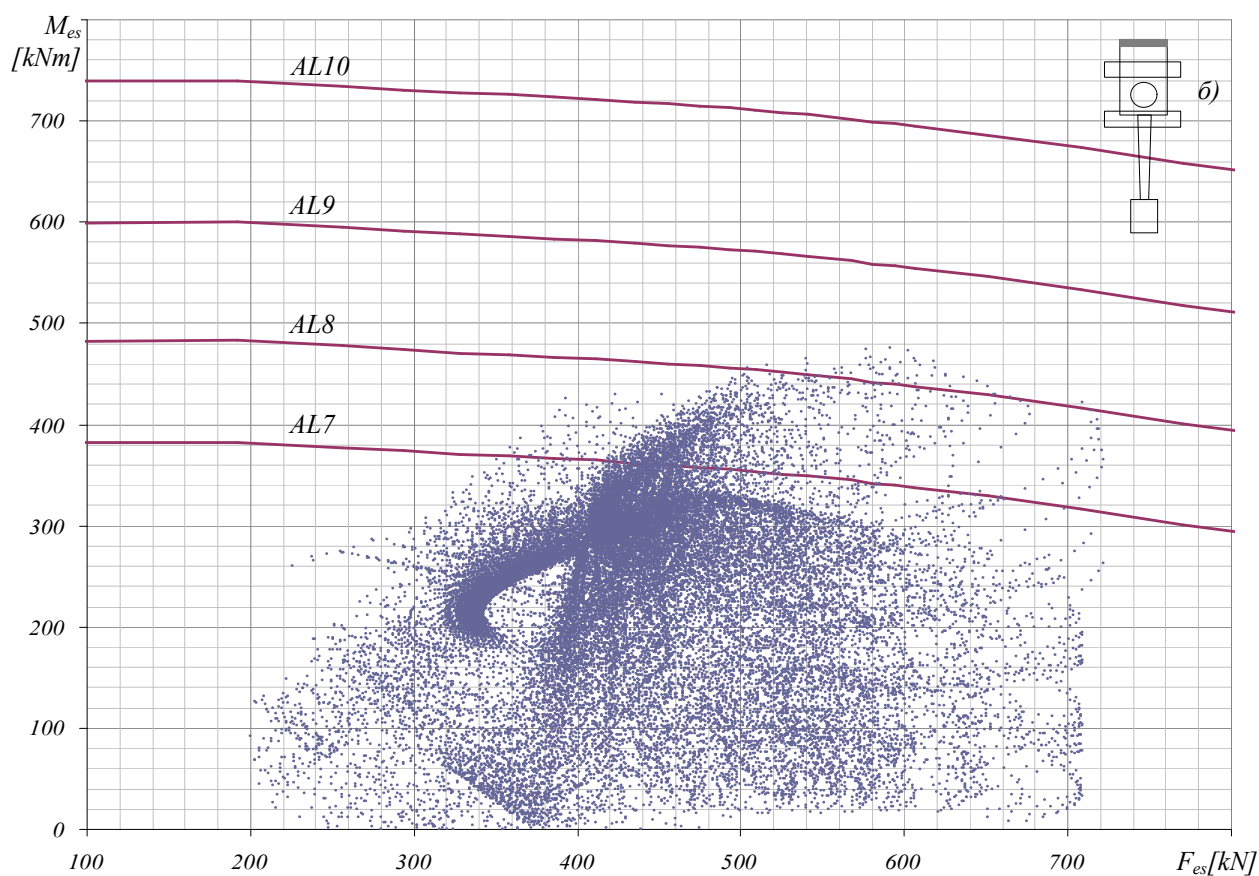
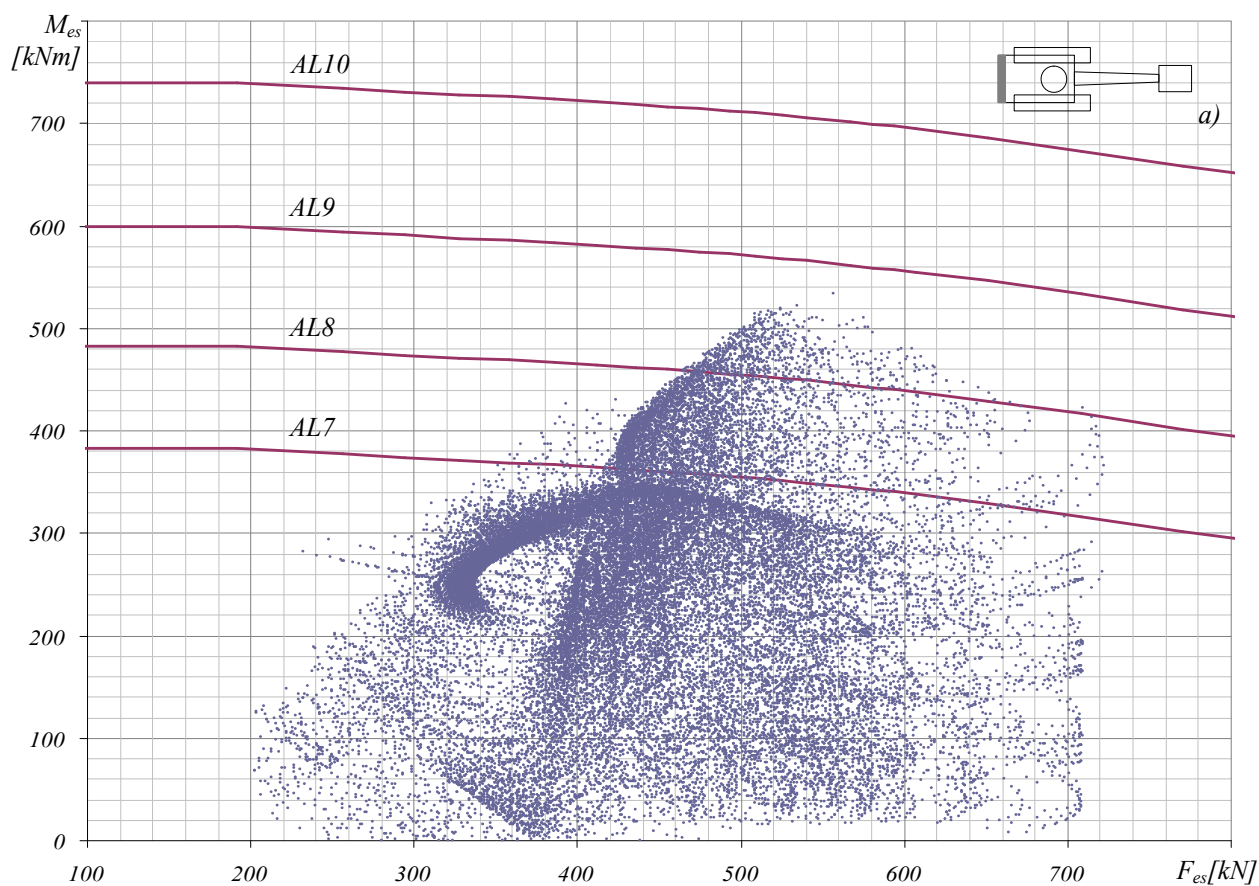
4.23)



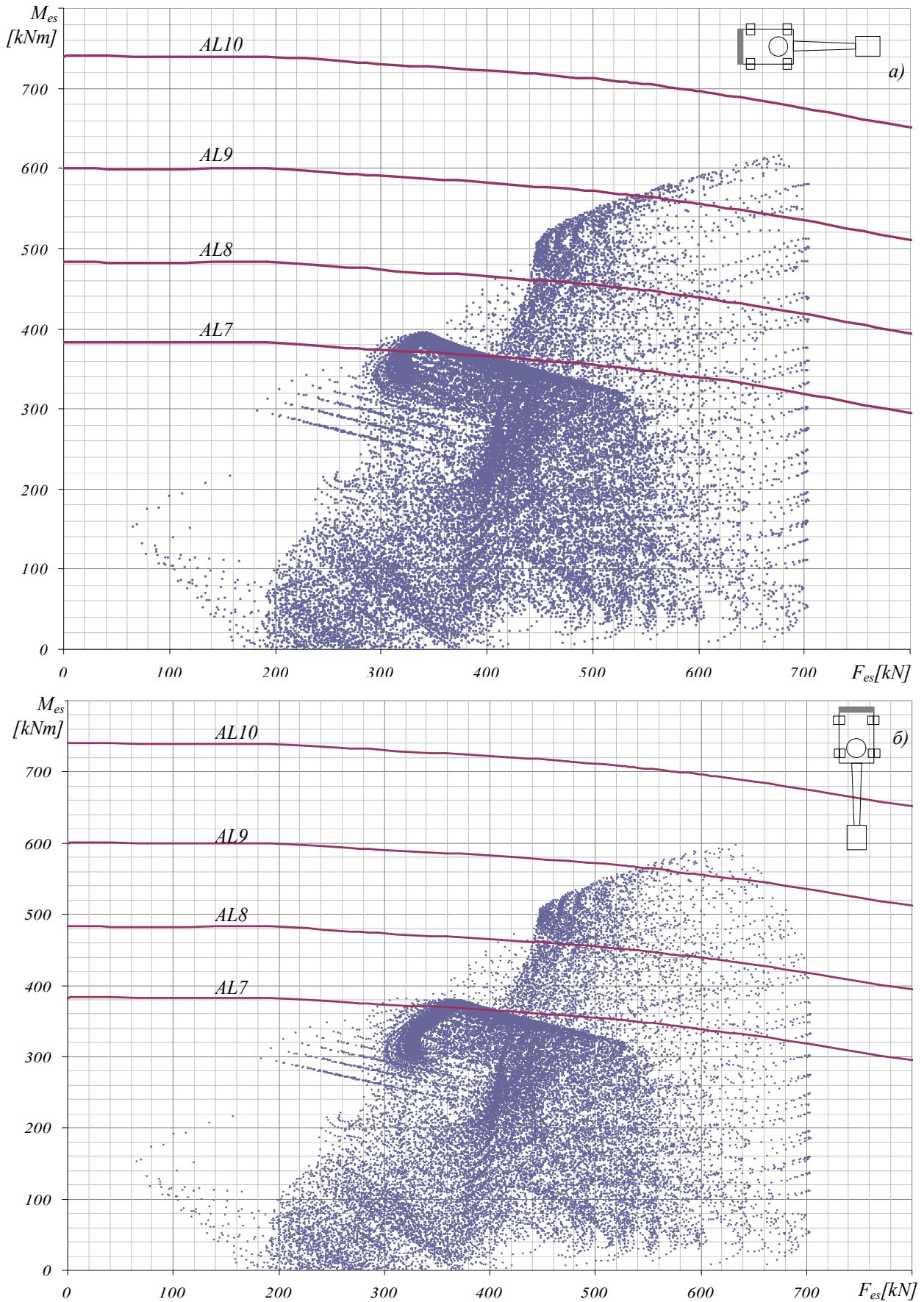
Сл.4.19 Спектри оптерећења аксијалног лежаја модела багера **Е** са дубинским манипулатором запремине кашике $V=0,24 \text{ m}^3$ када је раван манипуалтора у: а) подужној ,б) попречној равни гусеничног ослоно-кретног механизма



Сл.4.20 Спектри оптерећења аксијалног лежаја модела багера F са дубинским манипулатором запремине кашике $V=0,6 m^3$ када је раван манипулатора нормална на: а) попречну, б) подужну раван осноно-кретног механизма на пнеуматицима



Сл.4.21 Спектри оптерећења аксијалног лежаја модела багера **Е** са дубинским манипулатором запремине кашике $V=0,6$ m^3 када је раван манипулатора нормална на: а) попречну, б) подужну раван гусеничног ослоно-кретног механизма



Сл.4.22 Спектри оптерећења аксијалног лежјаја модела багера F са дубинским манипулатором запремине кашике $V=0,24 \text{ m}^3$ када је раван манипулатора нормална на: а) попречну, б) подужну раван осноно-кретног механизма на пнеуматицима

(4.19 - 4.22)

(4.23) E F

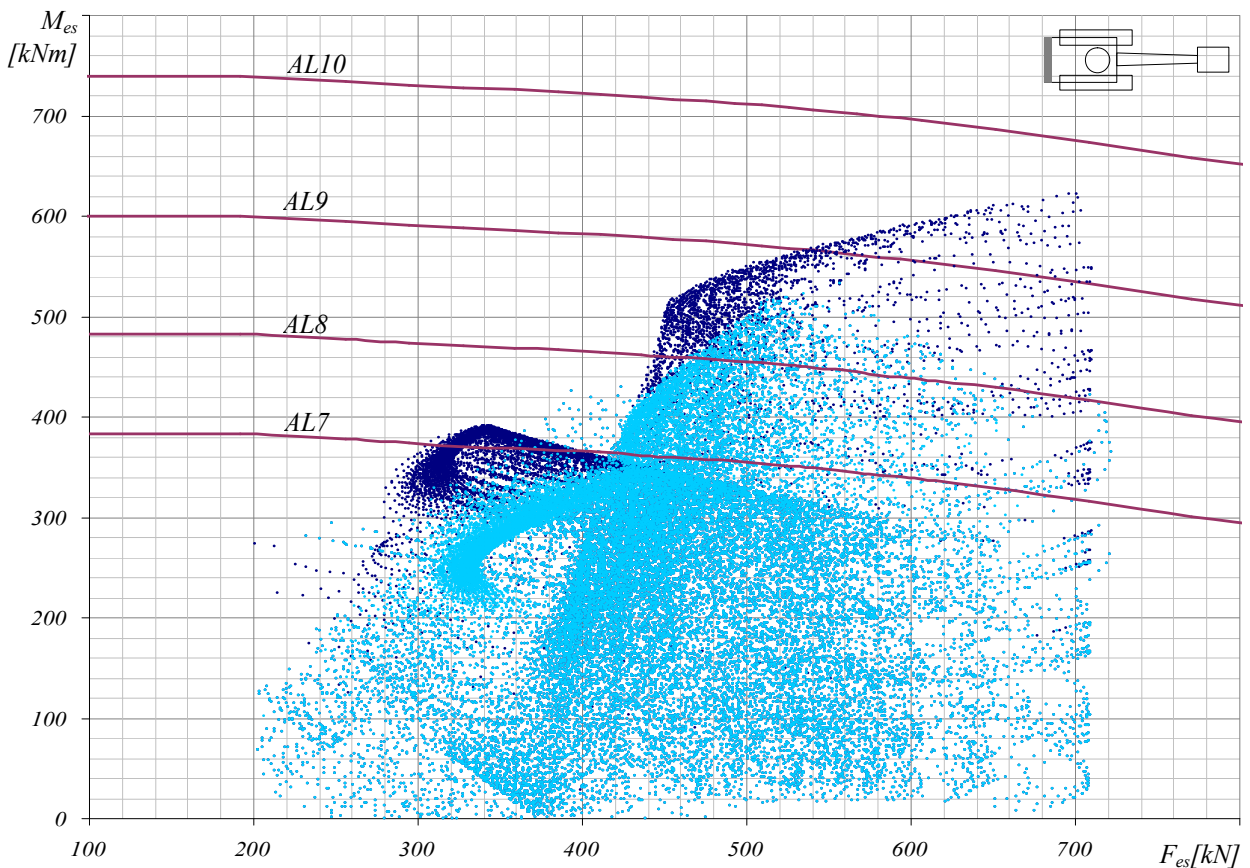
E - , - F -

$s_3=5m,$ $s_4=1,8m$ $V=0,6m^3$
 $\rho=1800 kg/m^3.$ E F -

$F.$

(4.23) F $AL10$ E
 $AL9.$

F



Сл.4.23 Поређење спектра оптерећење аксијалног лежаја модела багера E са гусеничним кретним механизмом (светло плава боја) и модела багера F са кретним механизмом на пнеуматцима (тамно оплава) и истим дубинским манипулатором запремине кашике $V=0,6 m^3$

E -

F -

(4.28)

a

(.4.19 .4.21)

E - ,

$s_3=5\text{ m}$

E $\rho=1800\text{kg/m}^3$.

$V=0,6\text{m}^3$, $s_4=1,8\text{ m}$

$V=0,24\text{m}^3$. $s_4=3,0\text{ m}$

(.4.19) *E*

(.4.21)

E

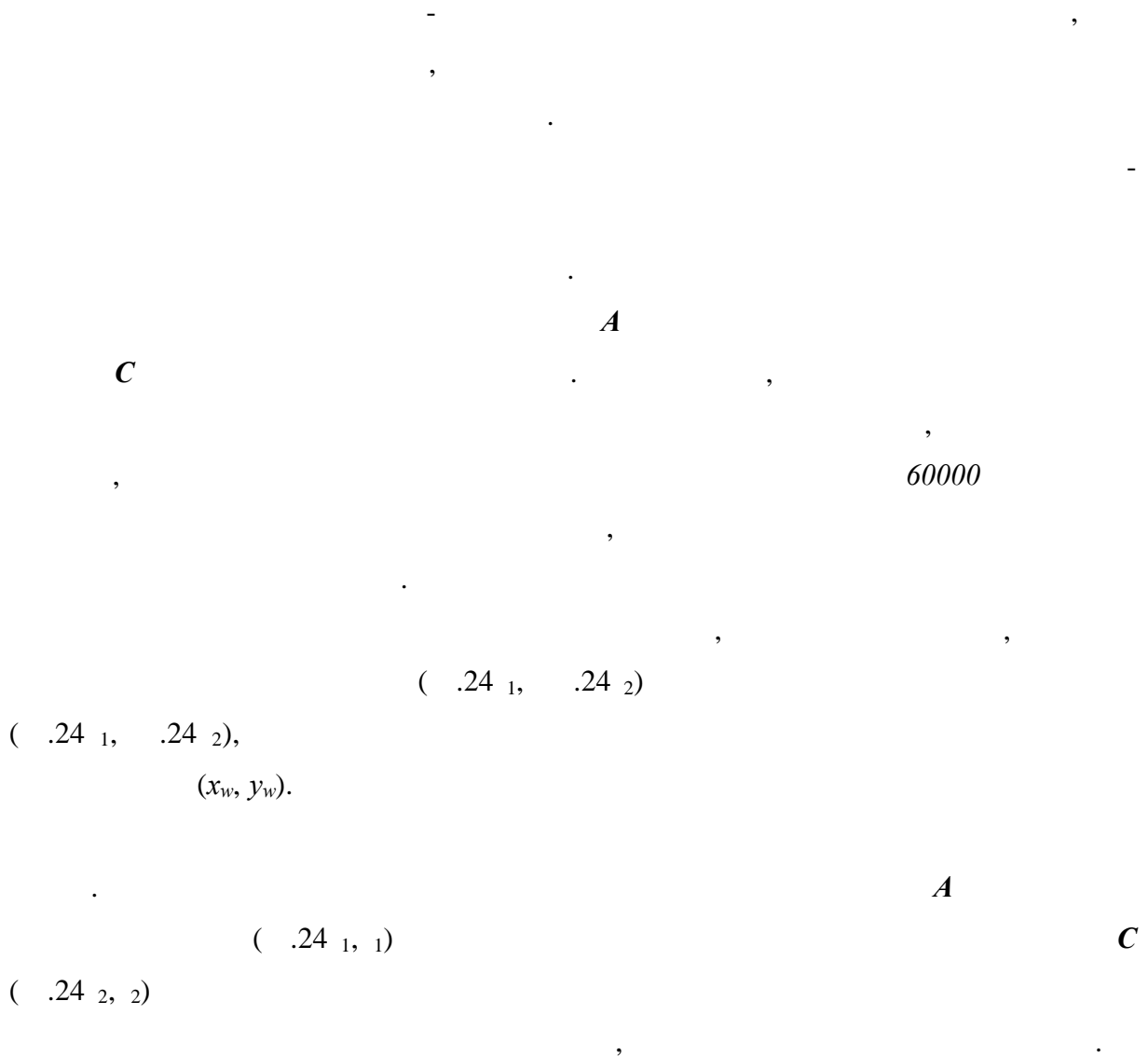
AL9.

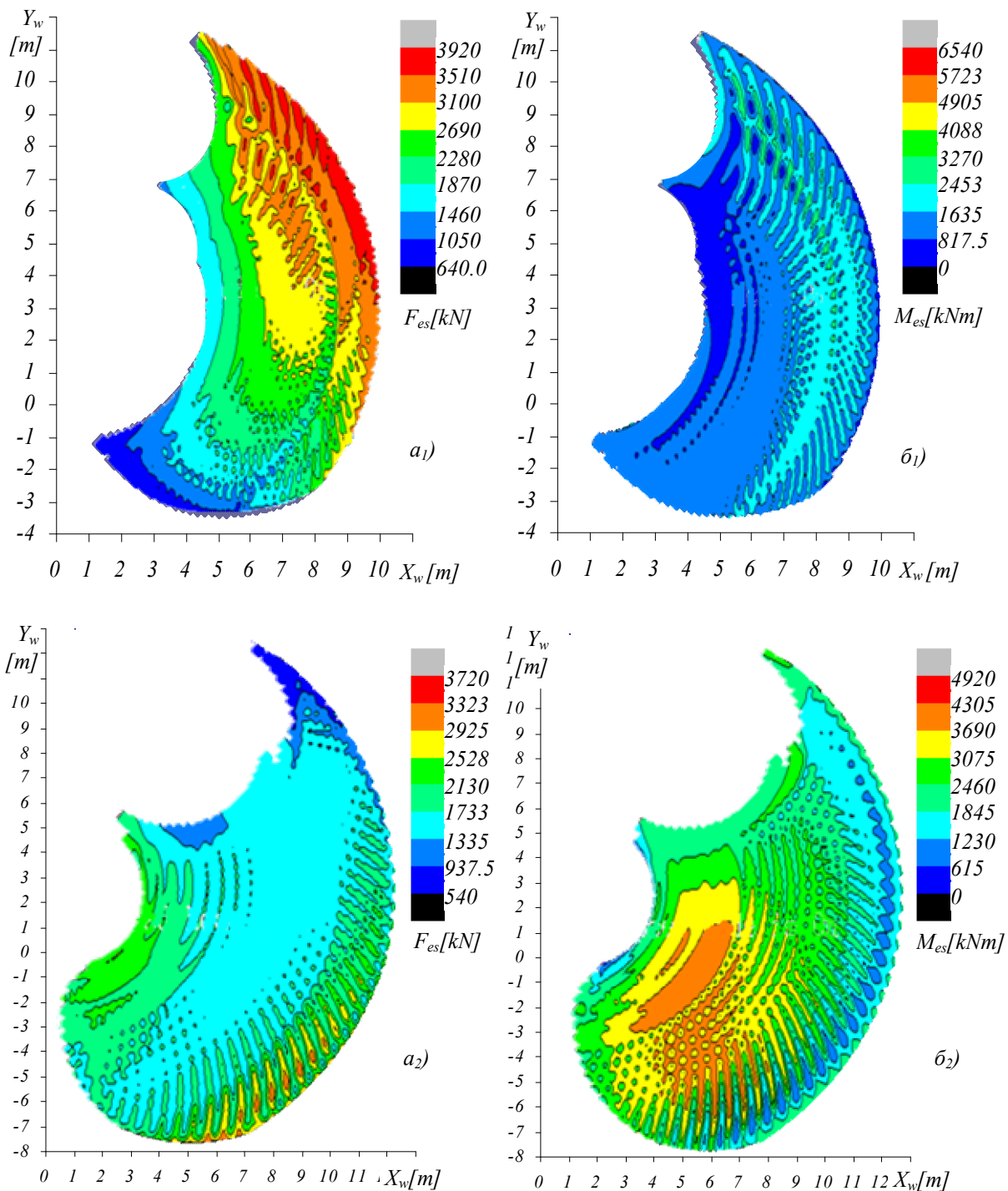
E

E ,

E ,

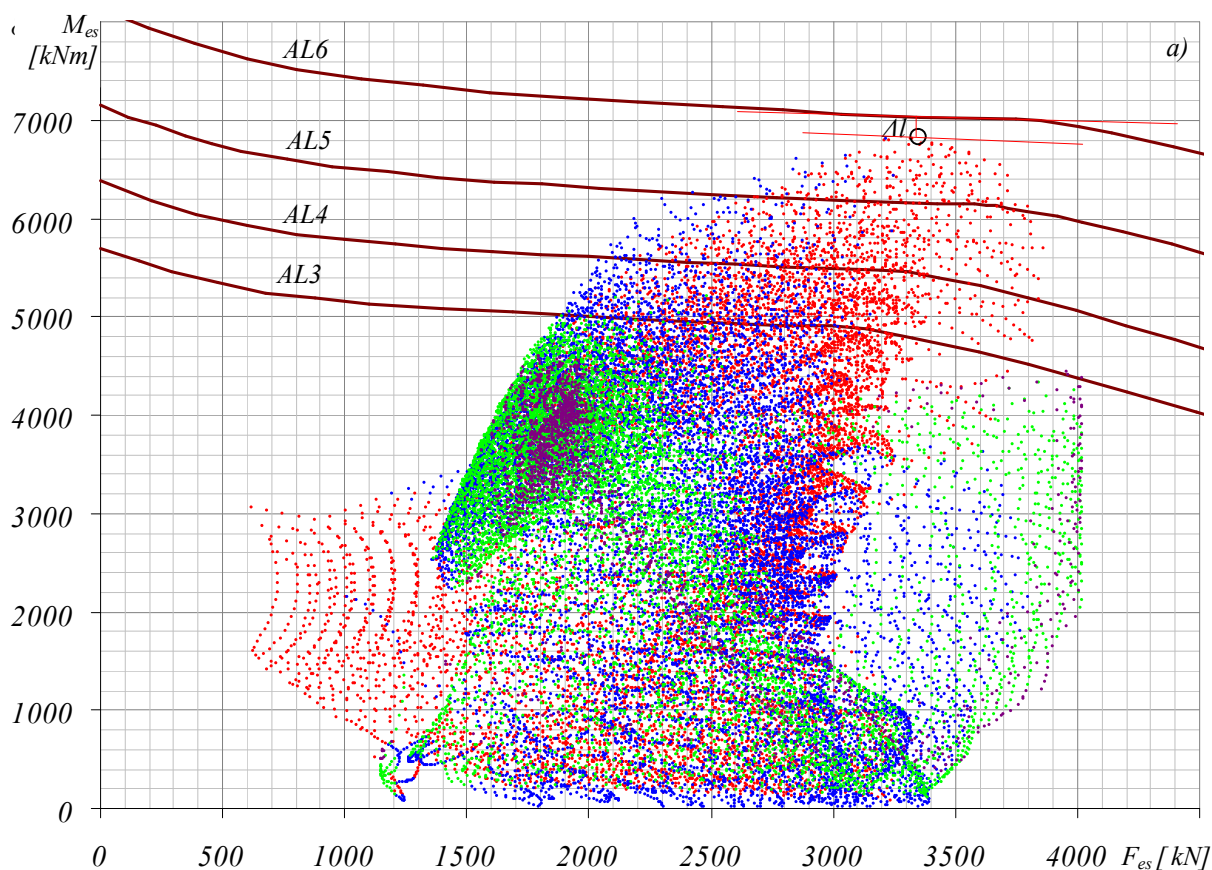
4.4.1. Анализа утицаја положаја кинематичког ланца багера



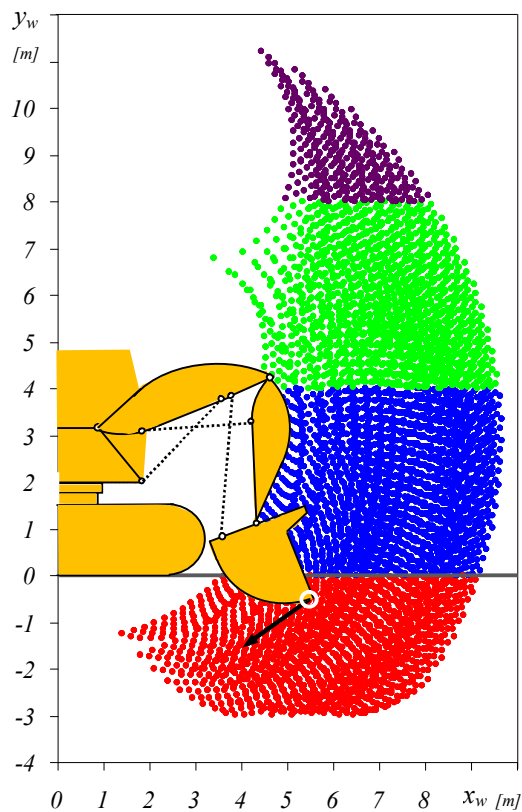


Сл.4.24 Спектри еквивалентних: а₁) сила и б₁) момената оптерећења аксијалног лежаја механизма обртне платформе модела багера А са утоварним манипулятором, а₂) сила и б₂) момената, оптерећења аксијалног лежаја механизма обртне платформе модела багера С са дудинским манипулятором

(y_w)
 B E
 $(.4.25)$ $(.4.26)$
 B E
 B E
 $B,$ o o o $(.4.25,)$
 $AL4,$
 $AL6.$ E
 o o $(.4.26,)$
 $AL7,$
 $AL9.$
 B $(.4.25)$
 E $(.4.26)$
 $E.$ $AL6$ $B,$ $AL9$
 B $E,$
 e
 $(4.3, 4.4):$ $x_w, y_w,$
 $\varphi_3, \varphi_4, \varphi_5,$ φ_w
 $W_m,$
 W_{sm}
 $W_3, W_4, W_5.$



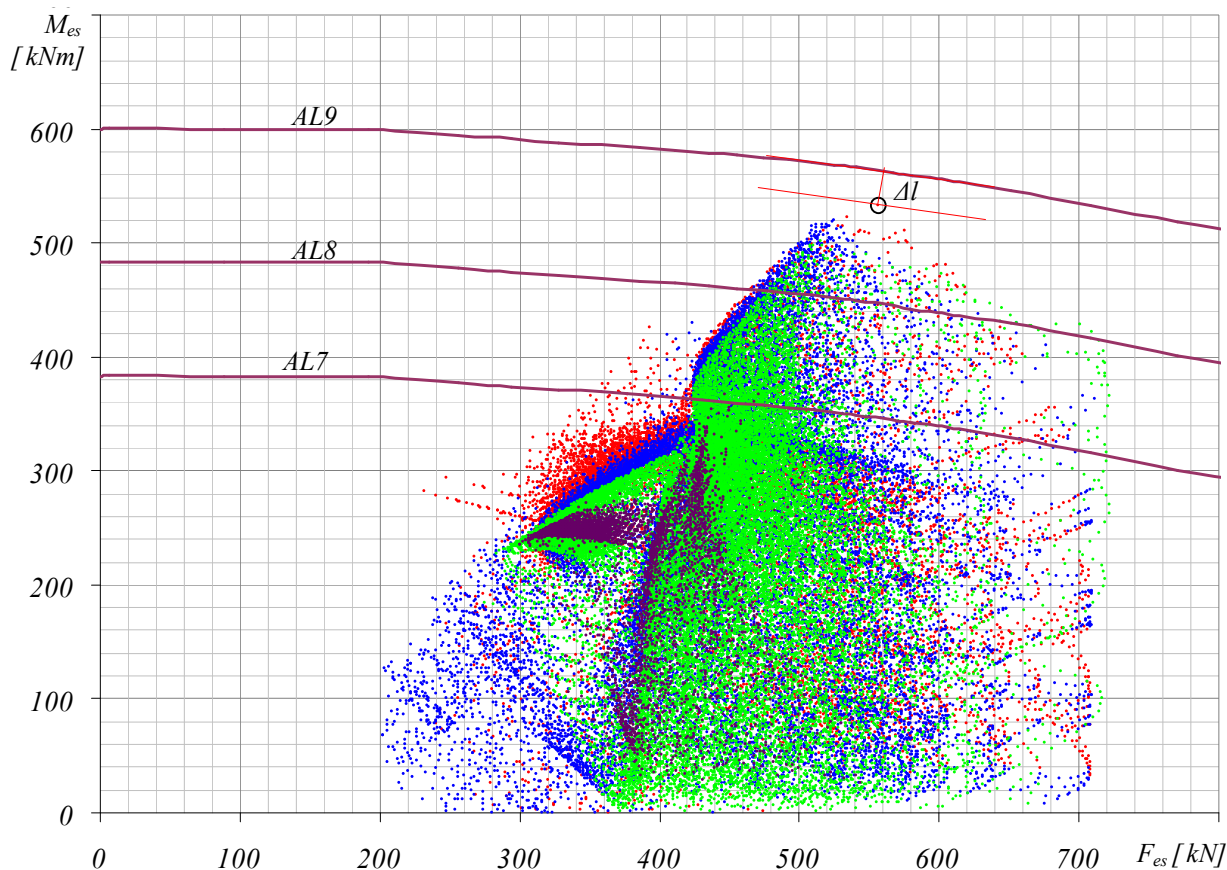
б)



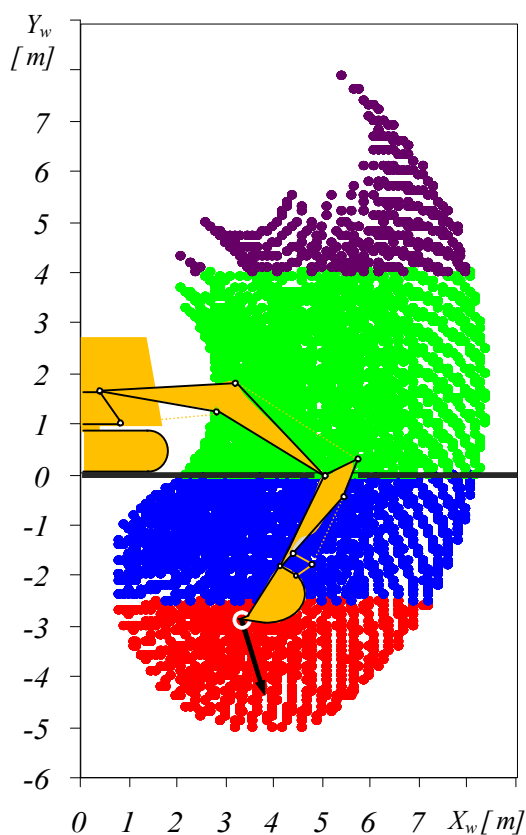
Табела Т4.3 Параметри положаја и оптерећења багера меродавни за избор аксијалног лежаја

x_w	m	5,30
y_w	m	-0,64
φ_3	°	21,51
φ_4	°	-99,74
φ_5	°	-61,83
φ_w	°	238,17
W_m	kN	823,24
W_{sm}	kN	841,22
W_{3m}	kN	835,99
W_{4m}	kN	928,42
a	kN	823,24
W_{5m}	kN	823,24
F_{es}	kN	3325,76
M_{es}	kNm	6815,27

Сл. 4.25 Анализа оптерећења аксијалног лежаја погона обртне платформе зависно од положаја утоварног манипулатора модела багера В: а) еквивалентна оптерећења у целом радном подручју, б) сегментна поља радног подручја багера



б)



Табела Т4.4 Параметри положаја и оптерећења багера меродавни за избор аксијалног лежјаја

$, x_w$	m	3,11
$, y_w$	m	-2,99
$, \varphi_3$	$^\circ$	-25,64
$, \varphi_4$	$^\circ$	-123,46
$, \varphi_5$	$^\circ$	-129,12
$, \varphi_w$	$^\circ$	-85,79
$, W_m$	kN	135,27
$, W_{3m}$	kN	136,93
$, W_{3m}$	kN	135,27
$, W_{4m}$	kN	142,92
a	kN	136,44
$, F_{es}$	kN	557,03
$, M_{es}$	kNm	533,18

Сл.4.26 Анализа оптерећења аксијалног лежјаја погона обртне платформе зависно од положаја дубинског манипулатора модела багера Е: а) еквивалентна оптерећења у целом радном простору, б) сегментна поља радног подручја багера

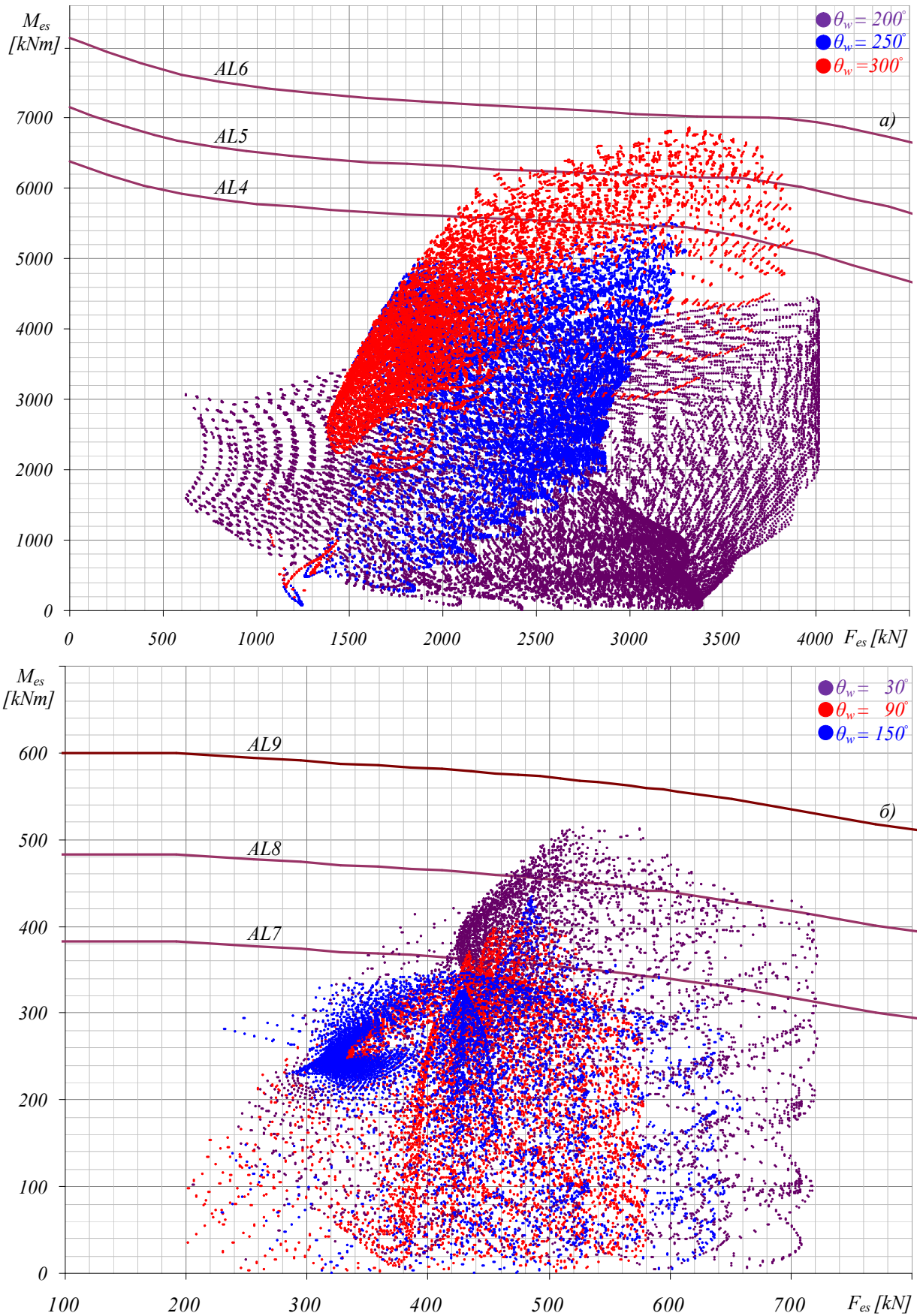
4.4.3. Анализа утицаја правца деловања отпора копања

о (3) θ_w

:)
 A (.4.27a) ,)
 F (.4.27).

A

F



Сл.4.27 Спектри оптерећења аксијалног лежаја за три различите вредности угла деловања силе отпора копања: а) модела багера А, б) модела багера F

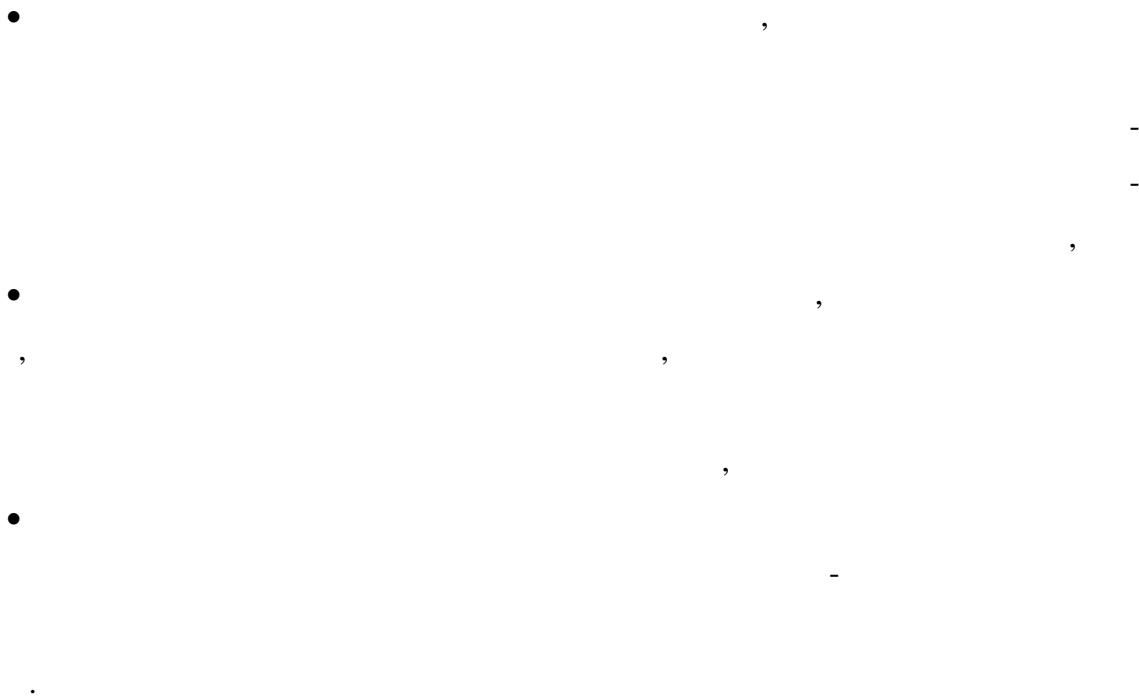
A

$\theta_w=300^\circ$ (.4.27),

$F \theta_w=30^\circ$ (.4.27).

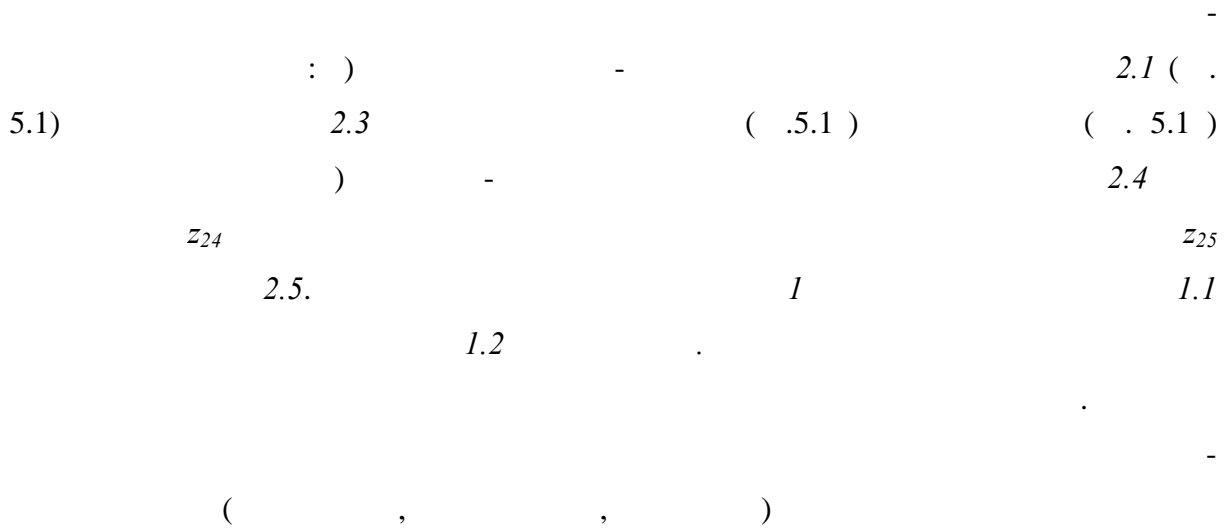
4.4.4. Резултати поступка избора аксијалног лежаја

•	:	-
•	,	-
•	a,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-
•	,	-

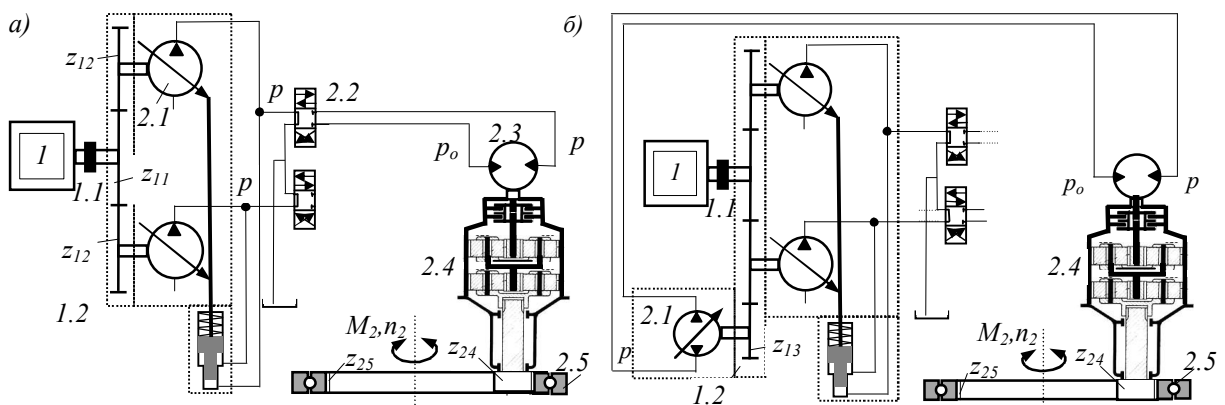


5. СИНТЕЗА ПОГОНА МЕХАНИЗМА ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ БАГЕРА

5.1. ОПШТЕ



(BoschRextorthe, Linde, Liebherr) [61][62][63].



Сл. 5.1. Погон обртне платформе хидрауличких багера са: а) отвореним, б) затвореним хидростатичким колом

5.2. СИНТЕЗА ПОГОНА МЕХАНИЗМА ПЛАТФОРМЕ

5.2.1. Математички модел погона маханизма платформе

О

:

:

,

:

-
-
-
-

•

$$: n_2 = \frac{q_{pmax} \cdot \varepsilon_p \cdot n_p}{q_{mmax} \cdot \varepsilon_m} \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{mv} \cdot \frac{l}{i_r \cdot i_l} \quad (5.1)$$

•

$$: M_2 = \frac{(p - p_o) q_{mmax} \cdot \varepsilon_m}{2\pi} \cdot \eta_{mm} \cdot i_r \cdot \eta_r \cdot i_l \cdot \eta_l \quad (5.2)$$

: q_{pmax}, q_{mmax} - , p, p_o -

, n_p - , i_r, η_r -

- , $\eta_{pv}, \eta_{pm}, \eta_{mv}, \eta_{mm}$ -

, $\varepsilon_p = q_p / q_{pmax}$ -

, $\varepsilon_m = q_m / q_{mmax}$ - , η_l -

$$P_f = \{M_{2max}, n_{2max}, n_{c2}, z_{25}\} \quad (5.3)$$

: M_{2max} - , n_{2max} -
 , n_{c2} - , z_{25} -

(5.1 5.2) -

[65-68]:

$$P_o = \{D_e, D_p, D_m, D_r\} \quad (5.4)$$

: D_p - , D_p -
 , D_m - D_r -

$$D_e = \{n_{enp}, n_{enk}, i_{ep}, i_{ek}\} \quad (5.5)$$

e je: n_{enp}, n_{enk} -
 , i_{ep}, i_{ek} -

$$D_p = \{q_{pmax}, \varepsilon_p, p_{pmax}, n_{pmax}, h_{pi}, k_{pi}, m_p\} \quad (5.6)$$

e je: q_{pmax} - e o o o e, p_{pmax} - a a o o o-
 e a , n_{pmax} - a a o j o aja o e, h_{pi}, k_{pi} -
 o e, m_p - a a

$$D_m = \{q_{mmax}, \varepsilon_m, p_{mmax}, n_{mmax}, h_{mi}, k_{mi}, m_m, J_m\} \quad (5.7)$$

e je: q_{mmax} - e o o o a, p_{mmax} - a a o o o e -
 a , n_{mmax} - a a o o o e o j o aja o o o a, h_{mi}, k_{mi} -
 o o o a, m_m - a a o o o a.

:

$$D_r = \{M_{rd\ max}, i_r, \eta_r, z_{24}, m_r\} \quad (5.8)$$

е је: $M_{rd\ max}$ - а а о е е о а, i_r - е о о о е о а, η_r - е е о о е о а, z_{24} - ој а а а а а о а е о а, m_r - а а е о .

5.2.1.1. Максимално потребни погонски момент. -

$$M_{2\ max}$$

:

$$M_{2\ max} = M_{2y\ max} + M_{2yt} \quad (5.9)$$

: $M_{2y\ max}$ -

, M_{2yt}

-

$$M_{2y\ max}$$

(4.)

$$M_{2y\ max}$$

$$M_{2yt} = \frac{\mu_t}{2} (a_t \cdot M_{2r} + F_{2a} \cdot D_L + b_t \cdot F_{2r} \cdot D_L) \quad (5.10)$$

: μ_t -

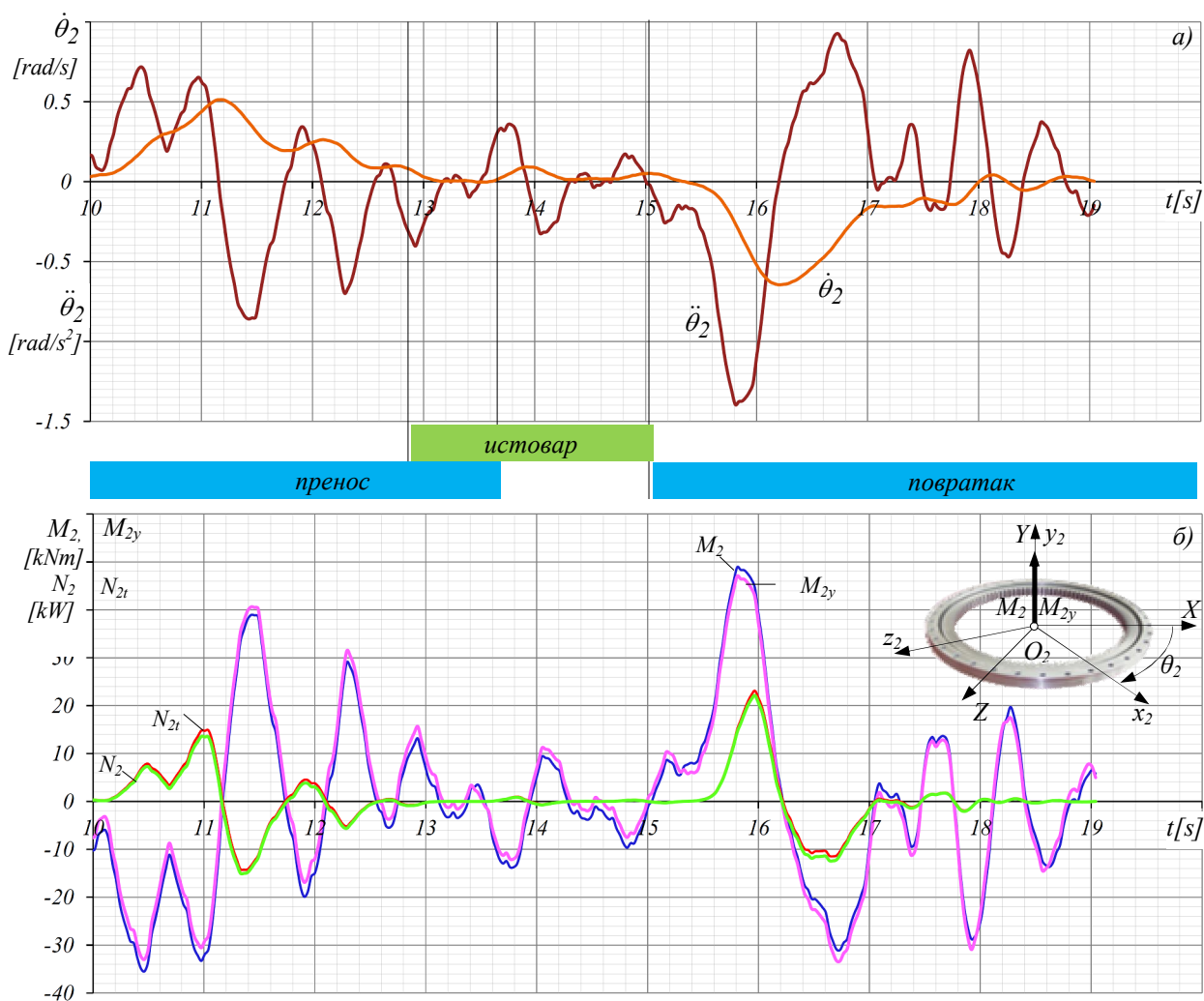
((22), a_t, b_t -

((23), M_{2r} - , F_{2a}, F_{2r} -

, D_L -

E (5.2) **A** (5.3)

E



Сл. 5.2. Параметри функција механизма платформе модела багера **E**: а) угаона брзина и угаоно убрзање, б) моменти M_2, M_{2y} и снаге N_2, N_{2t} без и са утицајем трења у аксијалном лежају

A

AL6 (

22)

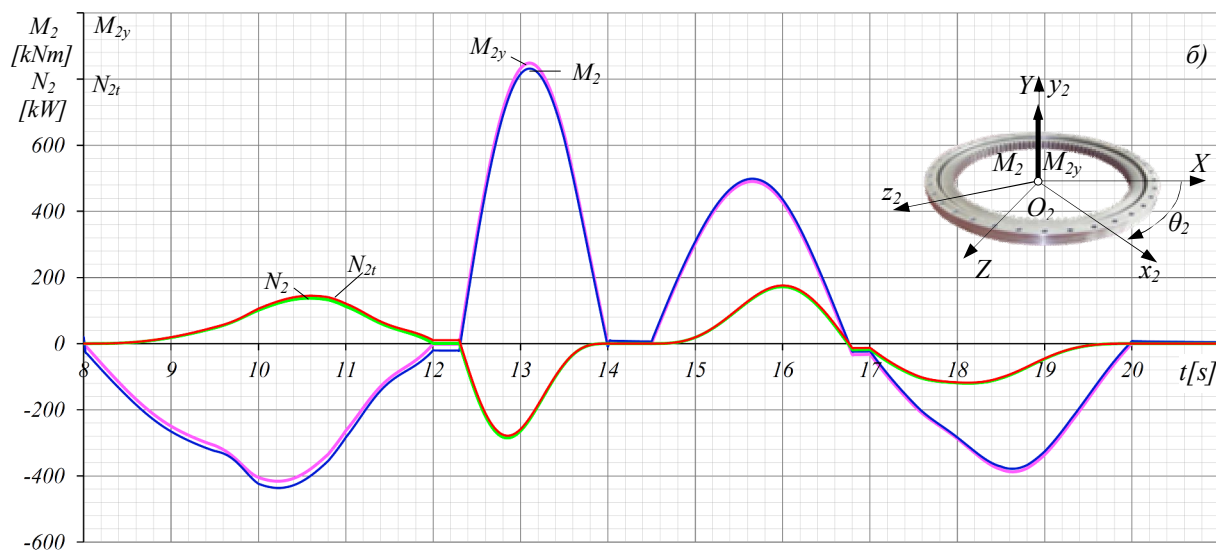
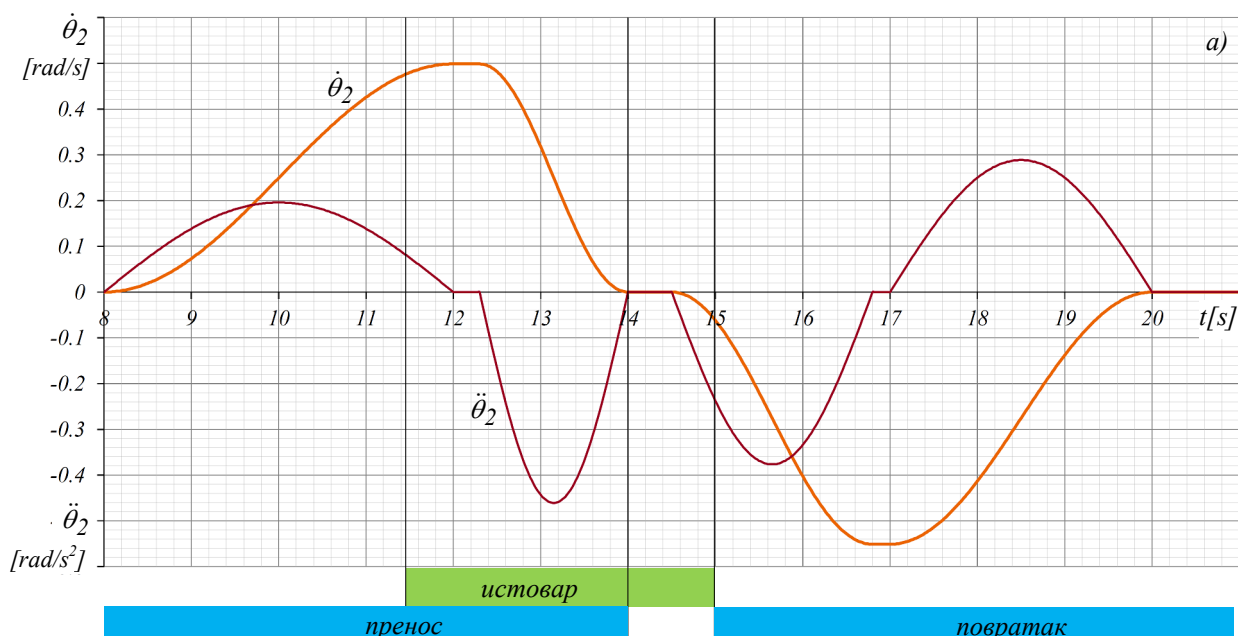
AL10 (

22).

(5.2 5.3),

M_{2y}, M_2

N_2, N_{2t}



Сл. 5.3. Параметри функција механизма платформе модела багера А: а) угаона брзина и угаоно убрзање, б) моменти M_2, M_{2y} и снаге N_2, N_{2t} без и са утицајем трења у аксијалном лежају

E A

(2-3%),

5.2.1.2. Избор преносника погона платформе. -

$M_{r\ max}$

$$M_{r\ max} = \frac{M_{2\ max}}{n_{c2} \cdot i_l \cdot \eta_l} \quad (5.11)$$

: i_l, η_l -

$$L_2 \quad (5.4) \quad z_{24}$$

$$(5.4) \quad (5.4)$$

z_{25} ,

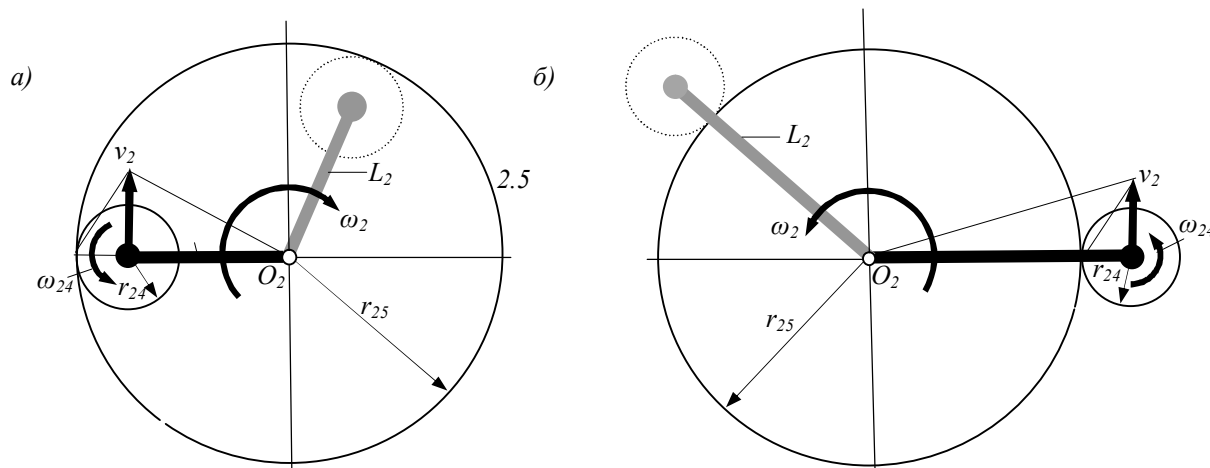
[69]:

$$\bullet \quad : \quad v_2 = (r_{25} - r_{24})\omega_2 = r_{24}\omega_{24} \quad (5.12)$$

$$\bullet \quad : \quad v_2 = (r_{25} + r_{24})\omega_2 = r_{24}\omega_{24} \quad (5.13)$$

$$\bullet \quad : \quad i_l = \frac{\omega_{24}}{\omega_2} = \frac{r_{25} - r_{24}}{r_{24}} = \frac{z_{25} - z_{24}}{z_{24}} \quad (5.14)$$

$$\bullet \quad : \quad i_l = \frac{\omega_{24}}{\omega_2} = \frac{r_{25} + r_{24}}{r_{24}} = \frac{z_{25} + z_{24}}{z_{24}} \quad (5.15)$$



Сл.5.4 Концепције погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера: а) унутрашње спрезање, б) спољашње спрезање излазног зупчаника редуктора и озубљеног венца аксијалног лежаја [69]

: $r_{24}, r_{25}, z_{24}, z_{25}$ -

, ω_2, ω_{24} -

M_{rmax}

(26),

$$k_r \cdot M_{rd max} \leq M_{r max} \leq M_{rd max} \quad (5.16)$$

: $M_{rd max}$ - а а о е е о а, k_r -

5.16,

5.1 5.2.

n_p p

q_p

q_m

i_r ,

$$M_{2max} \leq M_2 \leq k_M \cdot M_{2max} \quad (5.17)$$

$$n_{2max} \leq n_2 \leq k_n \cdot n_{2max} \quad (5.18)$$

: k_M, k_n -

n_p

n_{en}

$$n_{en} = [n_{enp}, n_{enk}]$$

i_e

$$i_e = [i_{ep}, i_{ek}],$$

$$n_p = \frac{n_{en}}{i_e} \leq n_{p max} \quad (5.19)$$

$$n_m = \frac{q_{pmax} \cdot n_p}{q_m \cdot \varepsilon_m} \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_{mv} \leq n_{mmax} \quad (5.20)$$

:

$$\bullet \quad : \eta_{pv} = 1 - \frac{Q_{gp}}{n_p \cdot q_p \cdot \varepsilon_p} \quad (5.21)$$

$$\bullet \quad : \eta_{pm} = \frac{q_p \cdot \Delta p \cdot \varepsilon_p}{q_p \cdot \Delta p \cdot \varepsilon_p + M_{gp}} \quad (5.22)$$

$$\bullet \quad : \eta_{mv} = \frac{n_m \cdot q_m \cdot \varepsilon_m}{n_m \cdot q_m \cdot \varepsilon_m + Q_{gm}} \quad (5.23)$$

$$\bullet \quad : \eta_{mm} = 1 - \frac{M_{gm}}{q_m \cdot \Delta p \cdot \varepsilon_m} \quad (5.24)$$

$Q_{gp,m}$ - $[m^3/s]$, $M_{gp,m}$ - $[Nm]$, n_p , n_m - $[rad/s]$, q_p , q_m - $[m^3/rad]$, Δp - $[N/m^2]$,
 $\varepsilon_{p,m} = q_{p,m}/q_{p,mmax}$ -

[90]:

$$Q_{gp,m} = h_{1p,m} \cdot \Delta p \cdot n^2 + h_{2p,m} \cdot \Delta p \cdot n + h_{3p,m} \cdot \varepsilon_{p,m} + h_{4p,m} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (5.25)$$

$$M_{gp,m} = k_{op,m} + k_{1p,m} \cdot \Delta p + k_{2p,m} \cdot n + k_{3p,m} \cdot n^2 + k_{4p,m} \cdot \Delta p \cdot n \quad (5.26)$$

: $k_{op,m}$, $k_{ip,m}$, $h_{ip,m}$ - (5.1)

Табела Т. 5.1 Корелациони коефицијенти губитака протока и момената клипно- аксијалних хидропумпи и хидромотора [80]

$h_{1p,m}$	$m^5/N rad^2$	0,5e-16	2·e-16	$k_{op,m}$	Nm	17	15
$h_{2p,m}$	$m^5/N s$	-0,3e-12	-0,3·e-12	$k_{1p,m}$	m^3	0,23 e-6	0,23e-6
$h_{3p,m}$	m^3/s	-1,0e-5	-1,0·e-5	$k_{2p,m}$	Nms/rad	-0,13	-0,12
$h_{4p,m}$	$m^4/N^{0,5} s$	3,0e-8	3,0·e-8	$k_{3p,m}$	kgm ²	0,75e-3	0,6e-3
				$k_{4p,m}$	m^3s/rad	-0,9e-9	-1,05e-9

5.2.2. Програм за синтезу погона механизма платформе

5.5) (.)

(.5.5):

$$U = \{P_f, P_o, n_{enp}, n_{enk}, i_{ep}, i_{ek}, P_{min}, P_{max}, z_{25}\} \quad (5.27)$$

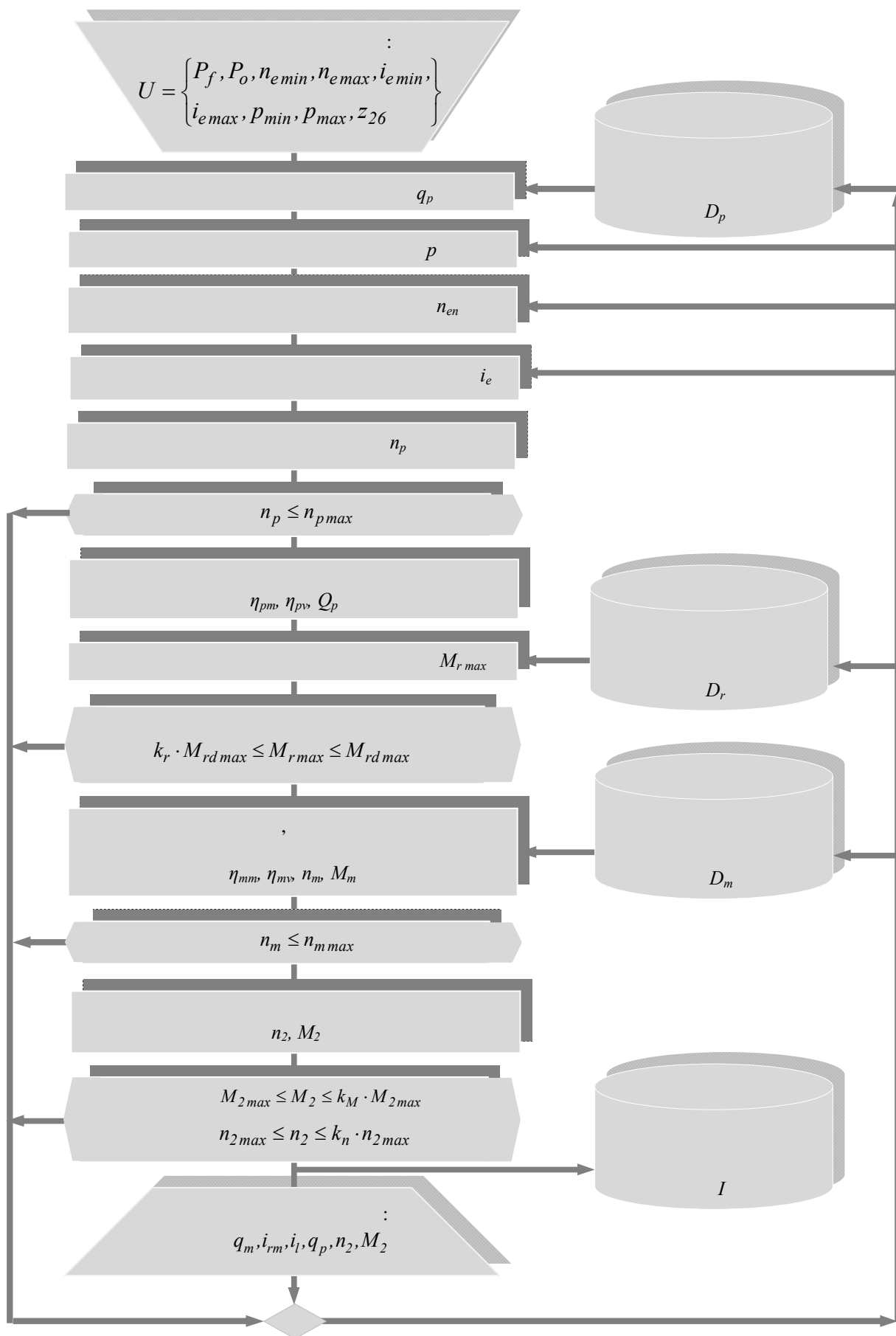
: P_f - , P_o - , n_{enp} , n_{enk} - , i_{ep} , i_{ek} - , P_{min} , P_{max} - , z_{25} -

D_p ,

D_r

$$I = \{q_{pmax}, n_{pmax}, P_{max}, q_{mmax}, i_r, n_{2max}, M_{2max}\} \quad (5.28)$$

: q_{pmax} - , n_{pmax} , P_{max} - , q_{mmax} - , i_r - , n_{2max} - M_{2max} -



Сл. 5.5 Алгоритам програма за синтезу погонског механизма обртне платформе багера

5.2.3. Пример синтезе механизма погона платформе

$M_{2max} = 498,46 \text{ kNm}$ (5.3),
 $(t = 15,66s)$

$M_{2max} = 49,33 \text{ kNm}$ (5.2)
 $(t = 15,87s)$

$n_{c2} = 2$,
 $n_{en} = [n_{enp}, n_{enk}]$,
 $p = [p_{min}, p_{max}]$

$z_{26} = 119$,
 $\eta_l = 0,96$

$n_{enp}, n_{enk} = 1800-1900$,
 $i_{ep}, i_{ek} = 0,50-1,20$,
 $p_{min}, p_{max} = 20-45$

Табела Т5.2 Параметри функција механизма обртне платформе модела багера А Е

		А	Е
M_{2max}	kNm	498,46	49,33
n_{2max}	min ⁻¹	5,2	12
n_{c2}	-	2	1
z_{26}	-	119	93
η_l	-	0,96	
n_{enp}, n_{enk}	min ⁻¹	1800-1900	2000-2100
i_{ep}, i_{ek}	-	0,50-1,20	
p_{min}, p_{max}	MPa	20-45	

$i_e = [i_{ep}, i_{ek}]$

$z_{11}, z_{12}, z_{13} \quad (5.1)$

$A \quad E \quad -$

$D_p, \quad D_m \quad D_r \quad -$

Bosch Rexroth [65].

$D_p \quad (24) \quad - \quad -$

$D_m \quad ($

25) $-$

$D_p \quad D_m \quad -$

$\varepsilon_p = 1$

$D_r \quad (26)$

$\eta_{si} = 0,965 \quad [91][92]$

94

$E \quad 87$

$A \quad E, \quad A.$

$(e \quad 5.3),$

(VE, VB)

$q_p \quad n_p, \quad -$

$q_m \quad i_r$

$n_2 \quad M_2$

Табела Т5.3 Варијанте погона механизма окретања платформе модела багера Е и А

/	спец. проток	притисак	бр. обртаја	спец. проток	преносни однос	бр. обртаја	момент
	q_p [cm ³]	p [MPa]	n_p [min ⁻¹]	q_m [cm ³]	i_r	n_2 [min ⁻¹]	M_2 [kNm]
E							
VE01/1	60.00	27.50	2932.55	28.10	91.13	12.09	54.70
VE02/1	60.00	26.00	2932.55	28.10	91.13	12.21	51.24
VE04/1	60.00	24.50	3194.89	90.00	31.36	12.18	52.51
VE05/1	60.00	27.50	2873.56	80.40	31.36	12.04	53.86
VE06/1	80.00	23.00	2475.25	28.10	103.63	12.29	49.95
VE07/1	80.00	23.00	2433.09	28.10	103.63	12.08	49.95
VE 08/1	80.00	27.50	2242.15	28.10	91.13	12.33	54.70
VE 09/1	80.00	27.50	2207.51	28.10	91.13	12.14	54.70
VE10/1	80.00	23.00	2433.09	32.00	91.13	12.06	50.02
VE11/1	80.00	23.00	2475.25	32.00	91.13	12.27	50.02
VE12/1	80.00	26.00	2141.33	80.40	31.36	12.07	50.45
VE14/1	80.00	27.50	2173.91	80.40	31.36	12.14	53.86
VE15/1	80.00	24.50	2392.34	90.00	31.36	12.16	52.51
VE17/1	93.80	20.00	2762.43	28.10	138.20	12.21	55.01
VE22/1	93.80	21.50	2433.09	28.10	121.50	12.16	53.50
VE28/1	93.80	24.50	2109.71	28.10	103.63	12.18	54.17
VE35/1	93.80	21.50	2352.94	32.00	103.63	12.11	51.96
VE38/1	93.80	23.00	2109.71	32.00	91.13	12.26	50.02
VE40/1	93.80	26.00	1838.24	80.40	31.36	12.15	50.45
VE44/1	93.80	27.50	1838.24	80.40	31.36	12.04	53.86
VE47/1	93.80	24.50	2020.20	90.00	31.36	12.04	52.51
VE52/1	107.00	20.00	2392.34	28.10	138.20	12.07	55.01
VE56/1	107.00	21.50	2109.71	28.10	121.50	12.03	53.50
VE61/1	107.00	23.00	1838.24	28.10	103.63	12.20	49.95
VE64/1	107.00	20.00	2392.34	32.00	121.50	12.05	55.08
VE72/1	107.00	20.00	2173.91	80.40	43. 87	12.06	50.00
VE75/1	107.00	24.50	1769.91	90.00	31.36	12.03	52.51
VE80/1	140.00	20.00	1838.24	28.10	138.20	12.13	55.01
VE85/1	140.00	20.00	1838.24	32.00	121.50	12.12	55.08
VE92/1	140.00	20.00	1666.67	80.40	43. 87	12.10	50.00
VE94/1	140.00	21.50	1666.67	80.40	43. 87	12.03	55.31
A							
VB 05/2	250.00	37.50	2368.42	106.70	62.28	5.36	518.75
VB 08/2	250.00	37.50	2337.66	106.70	62.28	5.29	518.75
VB 09/2	250.00	42.50	2535.21	106.70	62.28	5.36	530.61
VB 13/2	250.00	42.50	2500.00	106.70	62.28	5.29	530.61
VB 17/2	250.00	45.00	2647.06	106.70	62.28	5.37	536.30
VB 21/2	250.00	45.00	2608.70	106.70	62.28	5.29	536.30
VB 24/2	250.00	32.50	2647.06	125.00	62.28	5.39	525.98
VB 29/2	250.00	32.50	2608.70	125.00	62.28	5.31	525.98
VB 30/2	250.00	35.00	2686.57	125.00	62.28	5.34	559.47
VB 32/2	250.00	42.50	2432.43	180.00	35.13	5.41	504.47
VB 36/2	250.00	42.50	2400.00	180.00	35.13	5.34	504.47
VB 37/2	250.00	42.50	2368.42	180.00	35.13	5.27	504.47
VB 42/2	250.00	45.00	2535.21	180.00	35.13	5.41	509.89
VB 45/2	250.00	45.00	2500.00	180.00	35.13	5.34	509.89
VB 48/2	250.00	35.00	2432.43	200.00	35.13	5.36	504.49
VB 50/2	355.00	27.50	2022.47	80.40	111.86	5.27	512.29
VB 66/2	355.00	30.00	2068.97	80.40	111.86	5.29	562.66
VB 72/2	355.00	32.50	1836.74	125.00	62.28	5.31	525.98
VB 76/2	355.00	32.50	1855.67	125.00	62.28	5.37	525.98
VB 83/2	355.00	45.00	1855.67	106.70	62.28	5.35	536.30
VB 87/2	355.00	42.50	1800.00	200.00	35.13	5.31	518.01

5.3. АНАЛИЗА ПОГОНА МЕХАНИЗМА ОБРТНЕ ПЛАТФОРМЕ

(5.3)

A E,

n_2 M_2

E A,

()

-
-
-

5.3.1. Енергетска анализа ефикасности преносника погона

$$\eta_u = \eta_{mu} \cdot \eta_r \tag{5.29}$$

: η_{mu} - , η_r -

5.3.1.1. Степен корисности хидромотора преносника. -

:

$$\eta_{mu} = \eta_{mv} \cdot \eta_{mm} \tag{5.30}$$

: η_{mv} , η_{vm} -

$$(5.25 \quad 5.26)$$

$$(5.31 \quad 5.32)$$

[93]:

$$Q_{gm} = h_{1m} \cdot \Delta p + h_{2m} \cdot n_m \tag{5.31}$$

$$M_{gm} = k_{om} + k_{1m} \cdot \Delta p + k_{2m} \cdot n_m \tag{5.32}$$

: h_{1m} , h_{2m} , k_{om} , k_{1m} , k_{2m} - (5.4)

(5.4)

(35, 50 и 75 cm³)

e

()

(5.4), **A E.**

Табела Т 5.4 Корелационе константе губитака клипно- аксијалних хидромотора [93]

q_m cm ³	h_{1m} m ³ /sPa	h_{2m} m ³ /rad	k_{om} Nm	k_{1m} Nm/Pa	k_{2m} Nm/(rad/s)
35	1,0565e-12	3,0393e-8	-2,8465e-1	3,7989e-7	2,1217e-2
50	1,2798e-12	5,9098e-8	4,0394	5,5825e-7	5,5243e-2
75	1,8576e-12	5,1773e-8	3,4105	4,7974e-7	6.9763e-2

5.3.1.2. Степен корисности редуктора преносника. -

1 (.5.6) -
 2 -
 3, - 4.
 ()
 (-)

: Krejnersa -
 [91][92][94].

[91]:

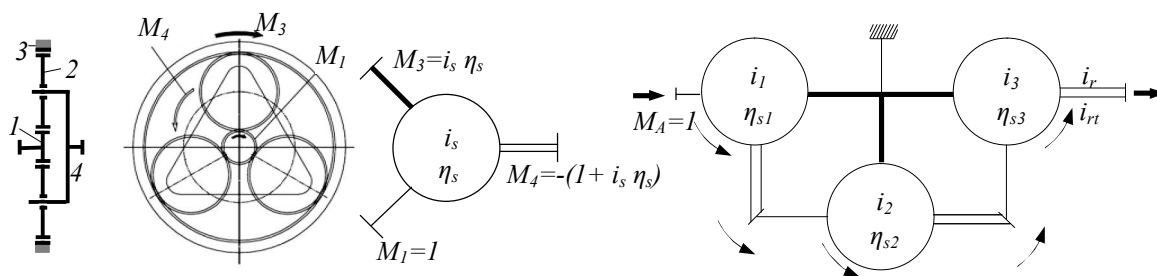
$$\eta_r = \frac{i_{rt}}{i_r} \quad (5.33)$$

: i_{rt} -

, i_r -

(.5.6) [95].

$$M_1 = 1 \quad M_4, M_3 \quad : \quad M_1 : M_4 : M_3 = M_1 : -(1 + i_s \cdot \eta_s) \cdot M_1 : i_s \cdot \eta_s \cdot M_1 = 1 : -(1 + i_s \cdot \eta_s) : i_s \cdot \eta_s \quad (5.34)$$



Сл. 5.6 Структурна анализа планетарног редуктора: а) елементарни планетарни сет, б) симбол, в) структурни дијаграм тростепеног планетарног редуктора са елементарним планетарним сетовима [95]

: M_1 - , M_3 -
 , M_4 - , $i_s=z_3/z_1$ -
 , η_s -
 [95]:

$$\eta_s = 1 - \left[0,15 \cdot \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) + 0,2 \cdot \left(\frac{1}{z_2} - \frac{1}{z_3} \right) \right] \quad (5.35)$$

n_s , -
 (5.6):

$$\eta_r = \frac{i_{rt}}{i_r} = \prod_{j=1}^{n_s} \frac{1 + i_{sj} \cdot \eta_{sj}}{1 + i_{sj}} \quad (5.36)$$

e ,
 i_r ,
 $\eta_{sj} = 1$.

5.3.1.3. Пример анализе енергетске ефикасности преносника. -

(Т.5.3),

: VE10/1 VE12/1 **E.**

VE10/1

$$q_m = 32 \text{ cm}^3$$

$$i_r = 91,13,$$

VE12/1

$$q_m = 80,4 \text{ cm}^3$$

$$i_r = 31,36.$$

$$q_p = 80 \text{ cm}^3$$

:

$$32 \text{ cm}^3 \quad 80,4 \text{ cm}^3,$$

$$(5.31 \quad 5.32)$$

$$35 \text{ cm}^3$$

75 cm^3 (а 5.4).

(T5.5)

VE10/1 VE12/1

E

3D

GFB 0026 T2 1000 GFB 0024 T3 1000

D_r (26).

η_r

-

(. 5.7).

(3 45 MPa)

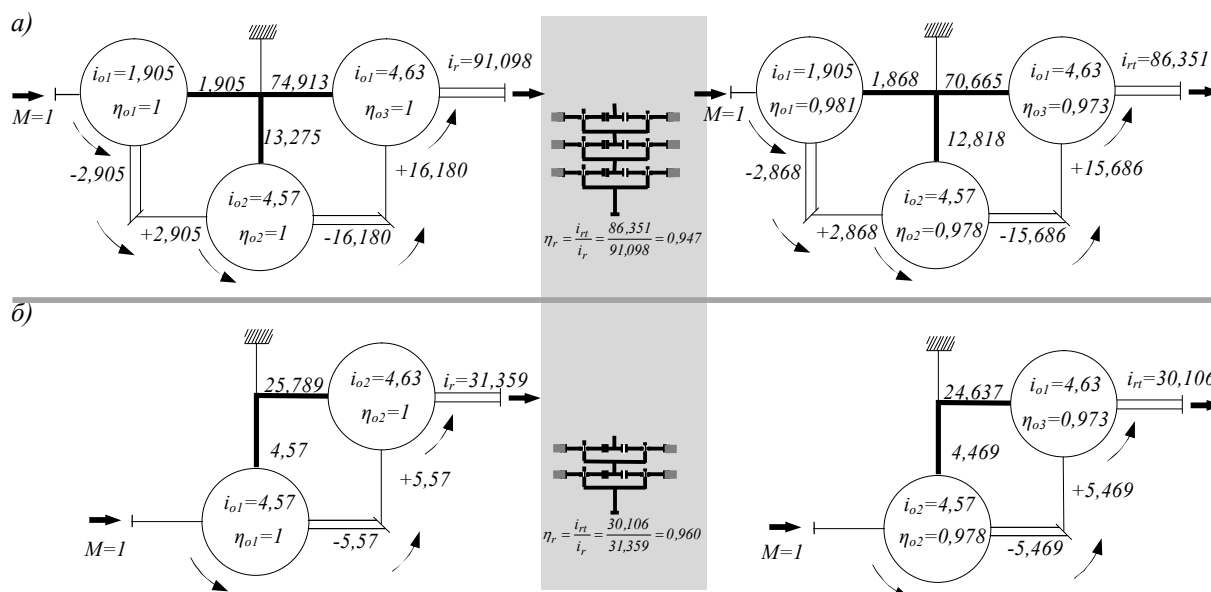
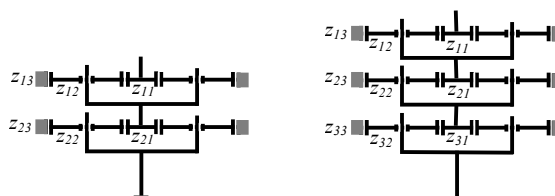
(10 195 l/min)

η_u (. 5.8)

-

Табела Т 5.5 Карактеристике планетарних редуктора погона обртне платформе модела багера **E**

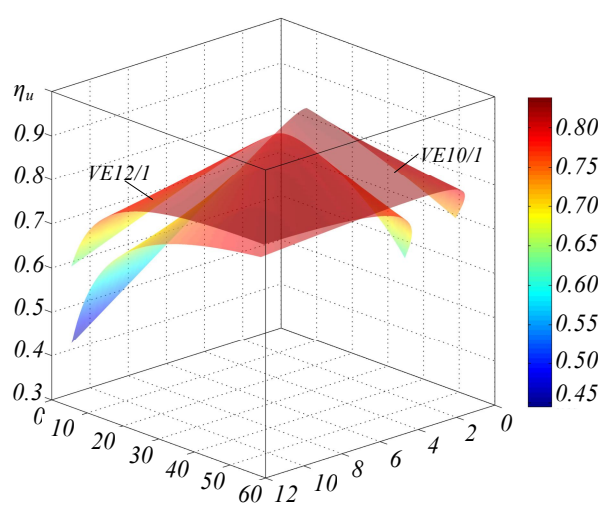
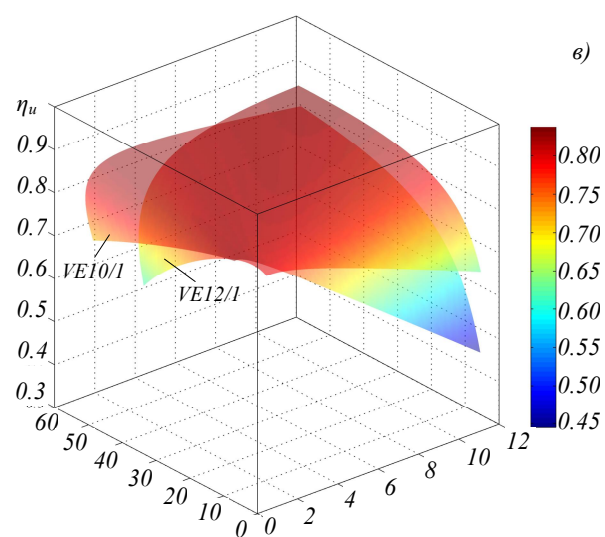
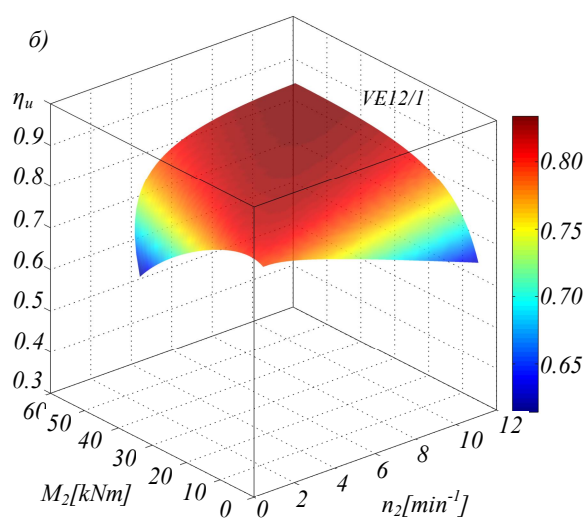
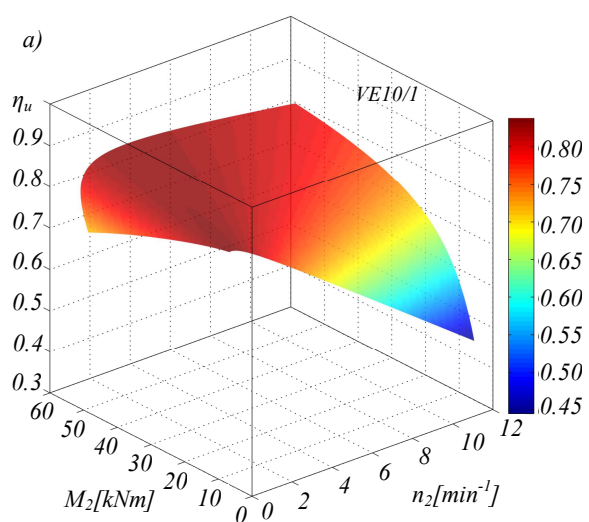
z_{i1}	14	11	42	14	11
z_{i2}	25	20	19	25	20
z_{i3}	64	51	80	64	51
i_i	5,57	5,63	2,905	5,57	5,63
η_r	0,960		0,947		
z_{24}	15		15		



Сл.5.7 Степени корисности планетарних редуктора: а) тростепеног, варијанте погона VE10/1 , б) двостепеног, варијанте погона VE12/1

VE10/1

VE12/1



Сл.5.8 Степени корисности преносника: а) варијанте погона VE10/1, б) ваијанте погона VE12/1, в) обе варијанте погона VE10/1 и VE12/1

5.3.2. Динамичка анализа стабилности багера

, -
 .
 .
 (-
) хидрауличких опруга
 .
 ()
 , , -
 .
 ()
 .
 L_1 (. 5.9),
 L_2 , L_3 , L_4 , L_5 .

5.3.2.1. Динамички математички модел багера. -

(. 5.9):

- ;
- - ;
- ;
- ,
- - ;
-

$OXYZ$

-

θ_i ($i=1,\dots,5$)

L_i

-

$Ox_i y_i z_i$

:

$$L_i = \{ \hat{e}_i, \hat{s}_i, \hat{t}_i, m_i, \hat{J}_i \} \forall i = 1, \dots, 5 \quad (5.37)$$

: \hat{e}_i -

()

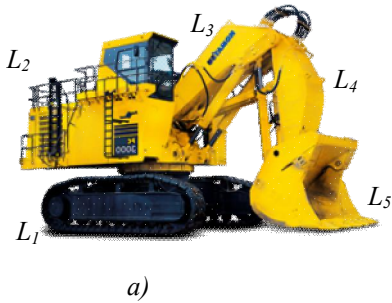
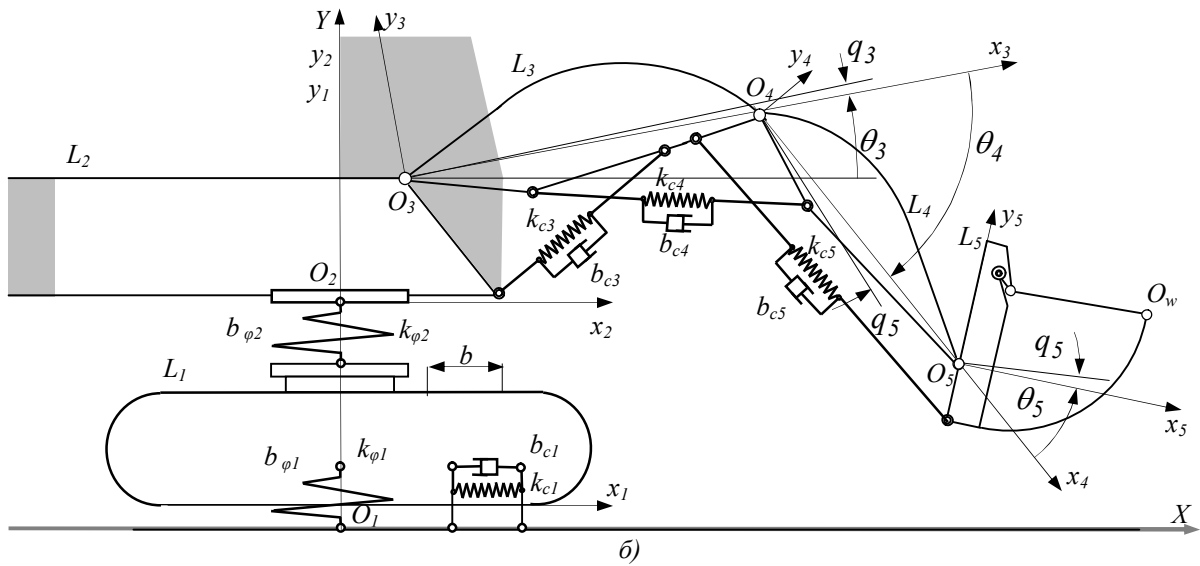
O_i

L_i

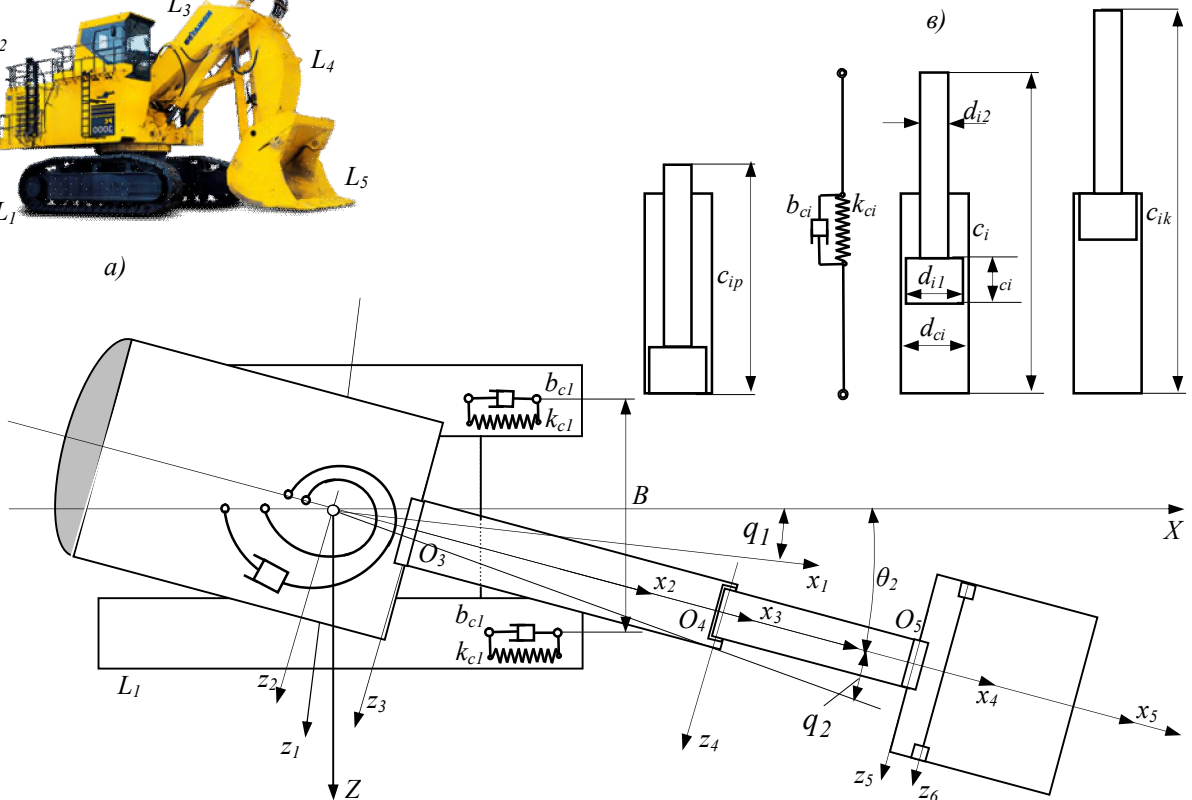
L_{i-1} ; \hat{s}_i -

O_{i+1}

L_i



a)



Сл.5.9 Модели багера са утоварним манипулятором: а) физички модел, б) динамички математички модел, в) динамички модел хидроцилиндра манипулятора багера

L_{i+1} , $L_i; \hat{t}_i$ - m_i $L_i; \hat{J}_i$ - L_i .

(5.9):

$$q = \{q_1, q_2, q_3, q_4, q_5\} \quad (5.38)$$

: q_1 - O_1y_1, q_2 - O_2y_2, q_3, q_4, q_5 - $O_i z_i$

k_{c1} O_{ix1} [96]:

$$k_{c1} = A \cdot E_{rz} = b \cdot h_p \cdot \frac{l_1}{t_1} \cdot n_r \cdot E_{rz} \quad (5.39)$$

: A - b - h_p - l_1 - t_1 - n_r - E_{rz} -

(5.9):

$$k_{\varphi 1} = k_{c1} \frac{B^2}{2} \quad (5.40)$$

: B - [96]:

$$b_{c1} = 2 \cdot k_{c1} E_{pz} \quad (5.41)$$

$$b_{\varphi 1} = b_{c1} \frac{B^2}{2} \quad (5.42)$$

: E_{pz} - $k_{\varphi 2}$ -

k_{h2} :

$$k_{\varphi 2} = k_{h2} \cdot i_r^2 \cdot i_l^2 \quad (5.43)$$

: i_r, i_l -

[97]:

$$k_{h2} = \frac{2 \cdot \left(\frac{q_m}{2\pi}\right)^2 \cdot E_o}{\frac{q_m}{2} + \frac{d_{vm}^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_{vm}} \quad (5.44)$$

: q_m - , E_o - ()
 , d_{vm}, l_{vm} -

(.5.9) [98] [99]:

$$k_{ci} = \frac{\left(\frac{d_{i1}^2 \cdot \pi}{4}\right)^2 E_o}{\frac{d_{i1}^2 \cdot \pi}{4} (c_i - c_{ip}) + \frac{d_{vi}^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_{vi}} + \frac{\left(\frac{d_{i1}^2 - d_{i2}^2}{4} \cdot \pi\right)^2 E_o}{\frac{d_{i1}^2 - d_{i2}^2}{4} \cdot \pi \cdot (c_{ik} - c_i) + \frac{d_{vi}^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_{vi}} \quad \forall i = 3,4,5 \quad (5.45)$$

: d_{i1}, d_{i2} - , c_{ip}, c_i, c_{ik} - ,
 , d_{vi}, l_{vi} -

E_o -

(.5.9) [97]: [98]:

$$b_{ci} = \frac{\pi \cdot \eta_o \cdot l_{ci} \cdot d_{i1}^2}{(d_{ci} - d_{i1})^2} \left[3 + \frac{3}{4} \frac{d_{i1}}{(d_{ci} - d_{i1})} \right] \quad \forall i = 3,4,5 \quad (5.46)$$

: η_o - , l_{ci} -

d_{ci} -

5.3.2.2. Пример динамичке анализе. -

(5.3) **B** -

5.40 5.42, - **B** (5.6).

B

B9 Int rtractorAG [69].

Табела Т 5.6 Динамичке карактеристике подлоге ослањања багера

a	L	m	2,517
	B	m	3,600
	t	m	0,260
	b	m	0,600
	h _p	m	0,055
[96]	E _{rz}	N/m ³	5,5e8
[96]	E _{pz}	s	5,0e-3
	k _{φ1}	Nm/rad	7,056e9
	b _{φ1}	Nms/rad	7,056e7

B (5.7).

Табела Т5.7 Динамичке карактеристике варијантних решења преносника механизма обртне платформе

		VB50/2	VB87/2	
	q _m	cm ³	80,40	200,00
	d _{vm}	m	0,025	0,032
	l _{vm}	m	0,320	0,320
	k _{h2}	Nm/rad	2,327e3	7,949e3
[100]	E _o	N/m ²	1,40e9	1,40e9
	i _r	-	111,86	35,13
	i _l	-	6,93	6,93

B

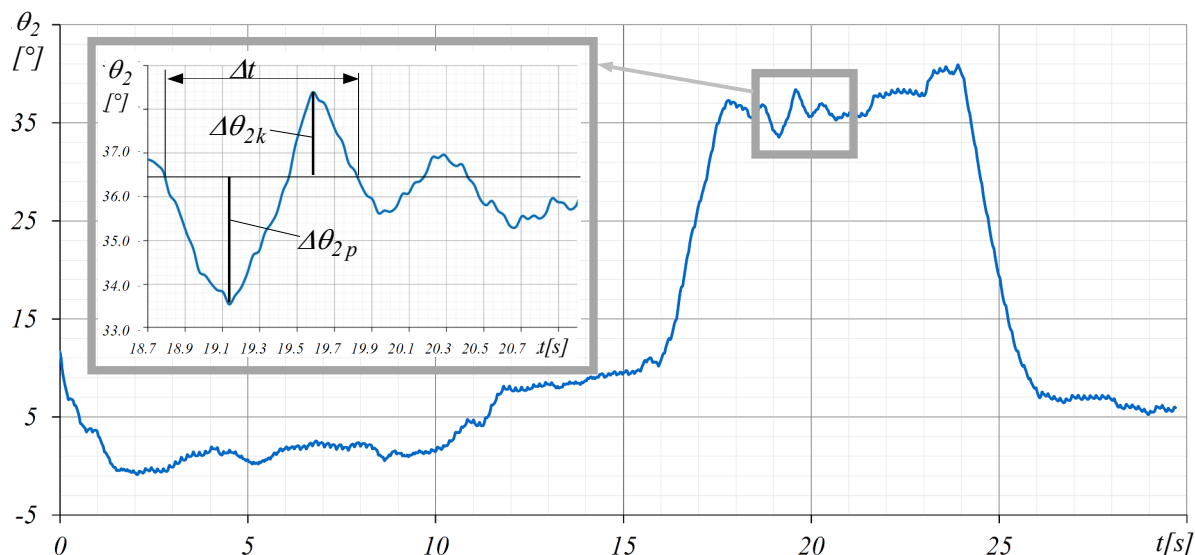
(5.10)

E

(t=18,8s)

27 [74].

(5.10):



Сл.5.10 Промена угла окретања платформе при манипулационом задатку 27 током испитивања модела багера **E** у експлоатационим условима [64]

$$\delta_2 = \frac{2}{\Delta t} \ln \left| \frac{\Delta\theta_{2p}}{\Delta\theta_{2k}} \right| = \frac{2}{19,8 - 18,8} \ln \left| \frac{36,45^\circ - 33,5^\circ}{38,35^\circ - 36,45^\circ} \right| = 0,879 \text{ s}^{-1} \quad (5.47)$$

: Δt - , $\Delta\theta_{2p}, \Delta\theta_{2k}$ -

B

(5.8).

Табела **T 5.8** Динамичке карактеристике варијантних решења преносника механизма обртне платформе

	d_{i1}	m	0,280	0,250	0,220
	d_{i2}	m	0,200	0,180	0,160
	d_{ci}	m	0,2805	0,2505	0,2205
	c_{ip}	m	2,800	2,300	3,150
	c_{ik}	m	4,500	3,500	4,100
	n_{ci}	-	2	2	2
	d_{vi}	m	0,048	0,048	0,048
	l_{vi}	m	6,000	6,000	7,000
[101]	η_o	Ns/m^2	9,0e-2	9,0e-2	9,0e-2

B

(5.9)

($t=16,76s$)

(3.2.7.1. 3.16).

B

$$\dot{\theta}_2 = -0,551 \quad \dot{\theta}_2 = 0 [\text{rad/s}].$$

Табела Т5.9 Почетни услови осциловања модела багера В (3.2.7.1. . 3.16)

	t	s	16,76
-	θ_1	°	0,000
	θ_2	°	54.342
	θ_3	°	50.526
	θ_4	°	-42.292
	θ_5	°	-37.282
	$\dot{\theta}_2$	rad/s	-0.551

$$q_i, i=1, \dots, 5 \quad (5.9)$$

MSC ADAMAS (енгл. Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) [102] [103].

B , , -
 B -
 : : -
 (2- 7), -
 (5.6),
 (5.7), ,
 (5.8),
 (5.9).
 (.5.11-5.12) -
 (.5.11)

a

VB87/2

B

VB87/2

()

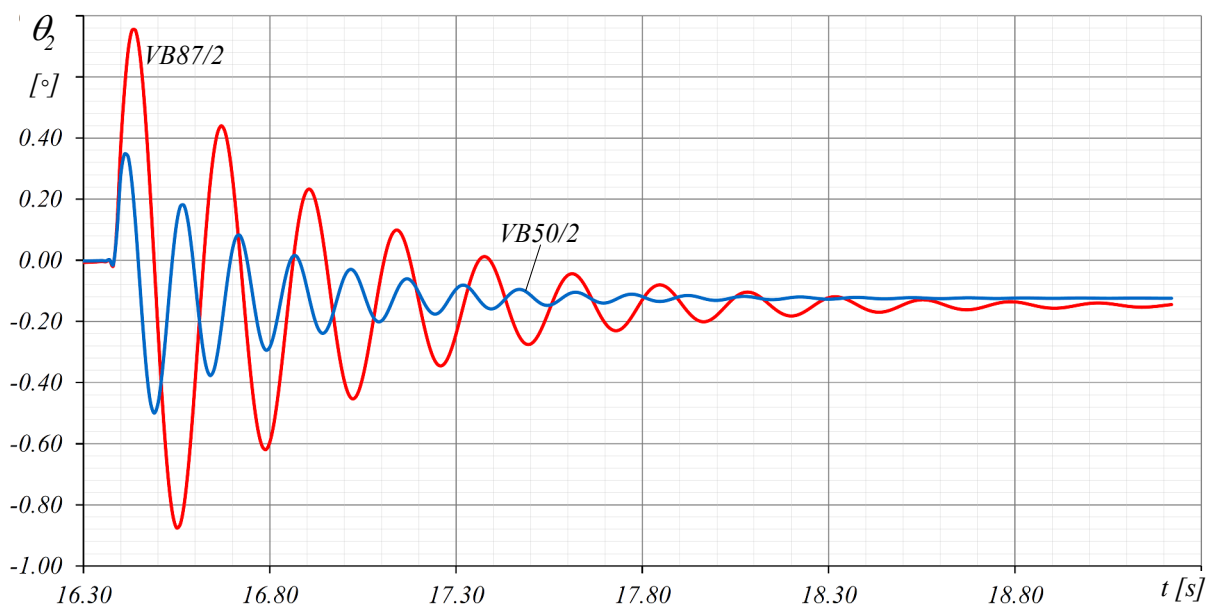
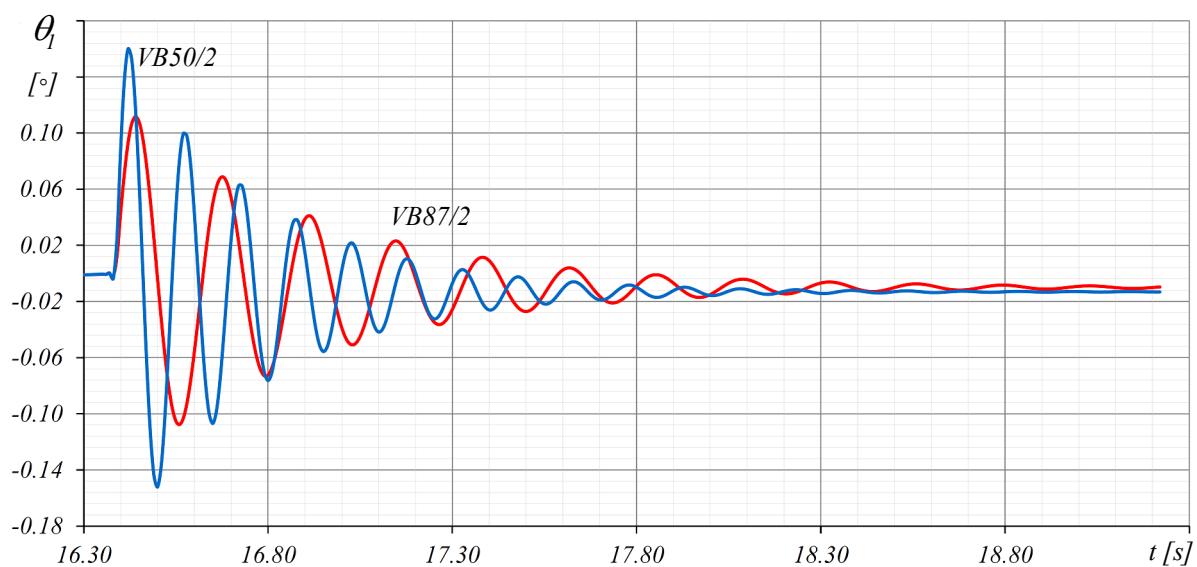
VB50/2.

(.5.12)

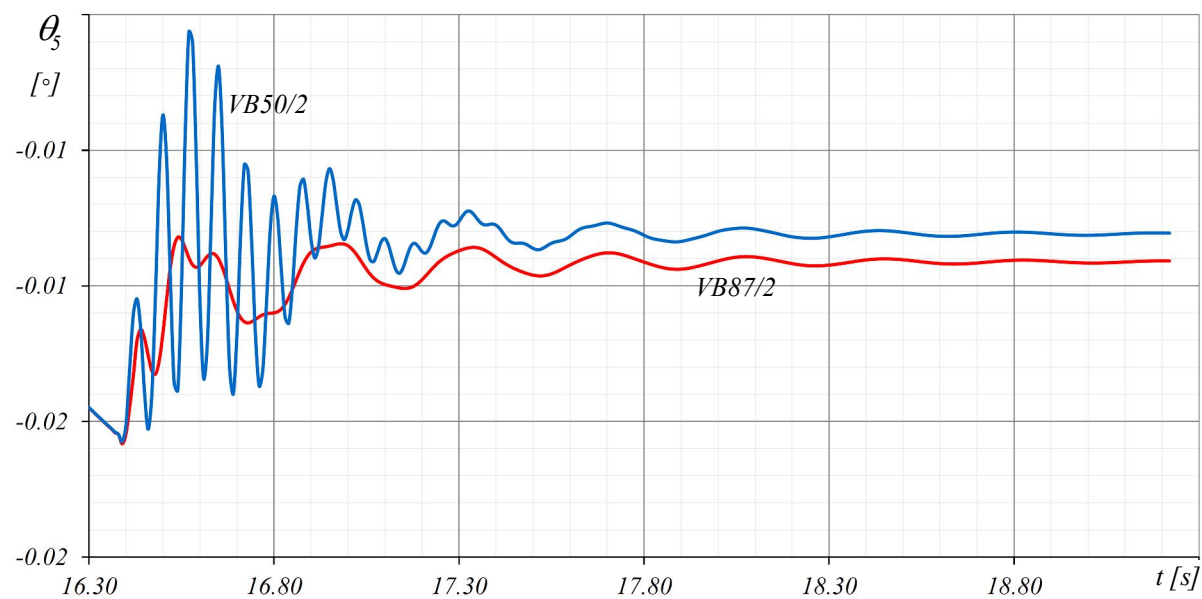
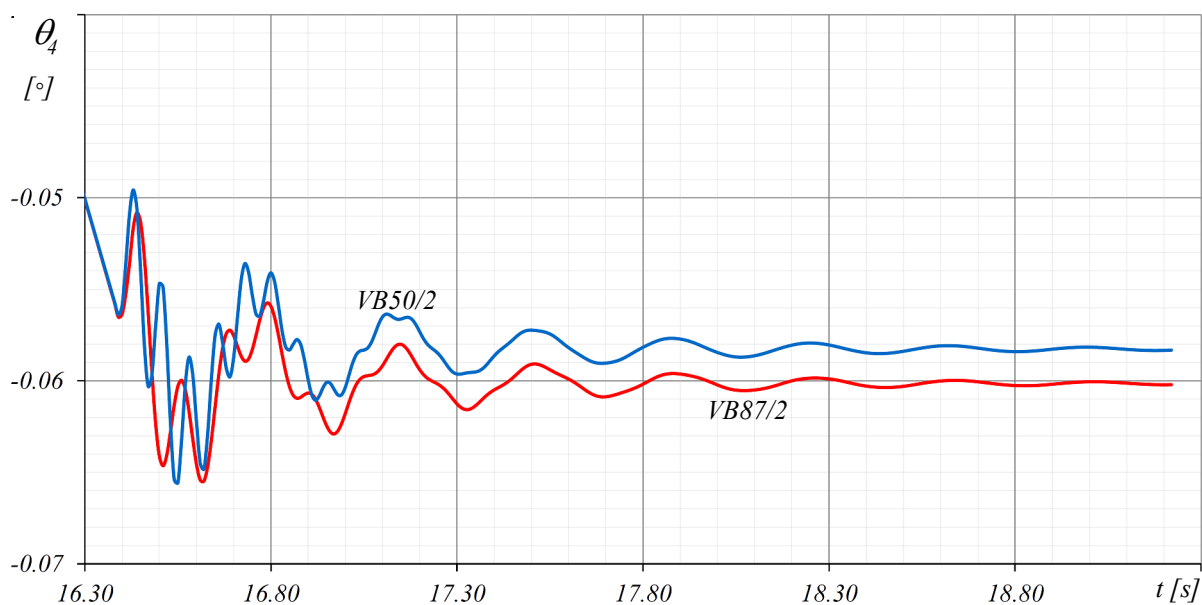
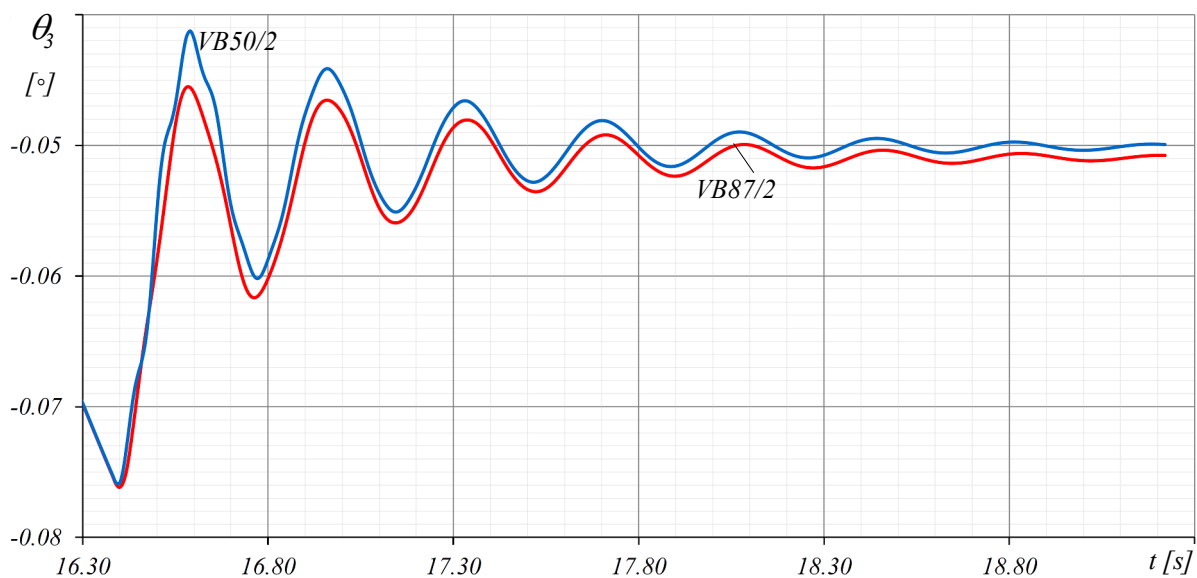
(.5.12),

VB50/2

VB87/2.



Сл.5.11 Генерализане координате осциловања: а) ослоно-кретног механизма, б) обртне платформе модела багера В са варијантиним погонима платформе VB50/2 и VB87/2



Сл.5.12 Генералисане координате осциловања: а) стреле, б)руке и в) кашике манипулатора модела багера В са варијантиним погонима платформе VB50/2 и VB87/2

5.3.3. Динамичко оптерећење погона

$\dot{\varphi}_1$ (3),
 (, ,) -
 , , , -
 , , , -
 , .
 , .
 , .
 (.5.9) ()
 ,
 - .
 -
 Oy_1 (.5.9) $(k_{\varphi 1}, b_{\varphi 1})$ (
) -
 (k_{c1}, b_{c1}) .
 -
 .

5.3.3.1. Пример анализе оптерећења. -

, MSC ADAMAS,
 , **B**
 $VB50/2$ $VB78/2$ (. 5.3) -
 .
B, :
 : - , , ,
 (2- 7),
 (5.6),

(5.7),

(5.8),

(3, 3.15),

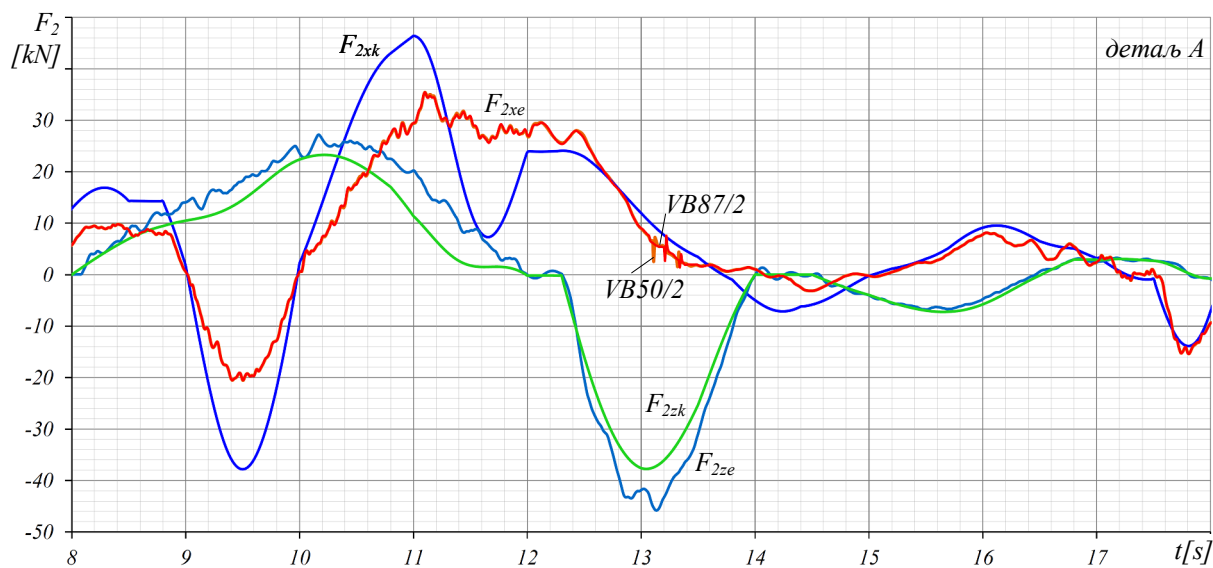
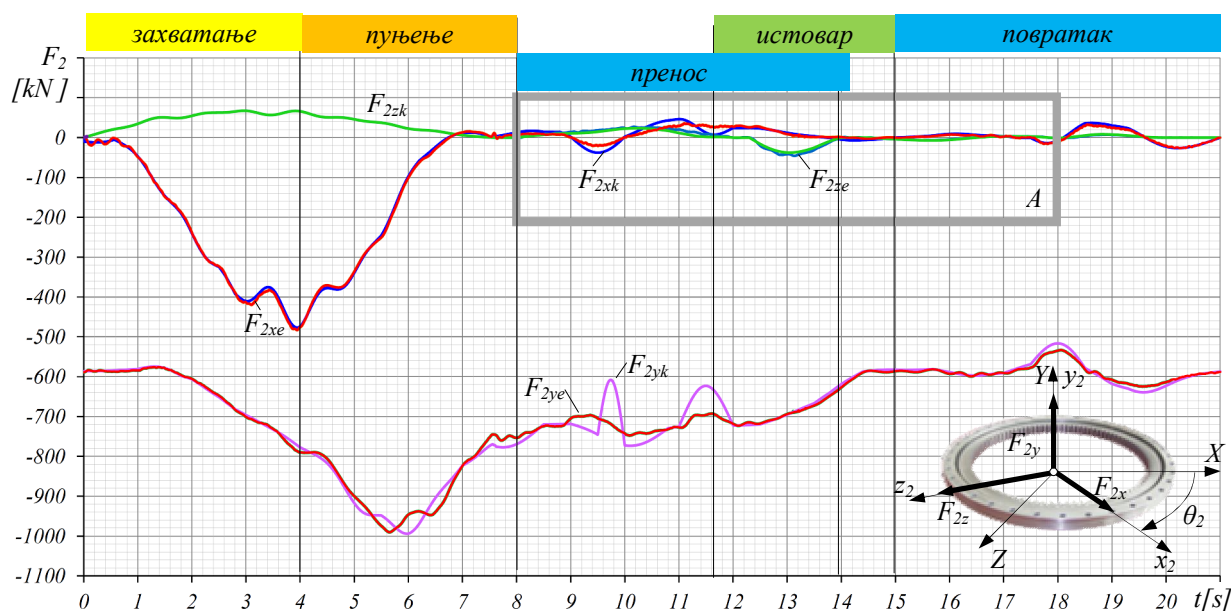
(3.15)

(3.17)

ADAMS,

(5.13)

(5.14)



Сл.5.13 Компоненте сила оптерећења аксијалног лежјаја варијанти погона платформе VB50/2 и VB87/2 одређене са крутим (F_{2zk} , F_{2yk} , F_{2zk}) и еластичним (F_{2xe} , F_{2ye} , F_{2ze}) математичким моделом багера **B**

(3, . 3.18)

$$F_{2xk}, F_{2yk}, F_{2zk} \quad (. 5.13) \quad -$$

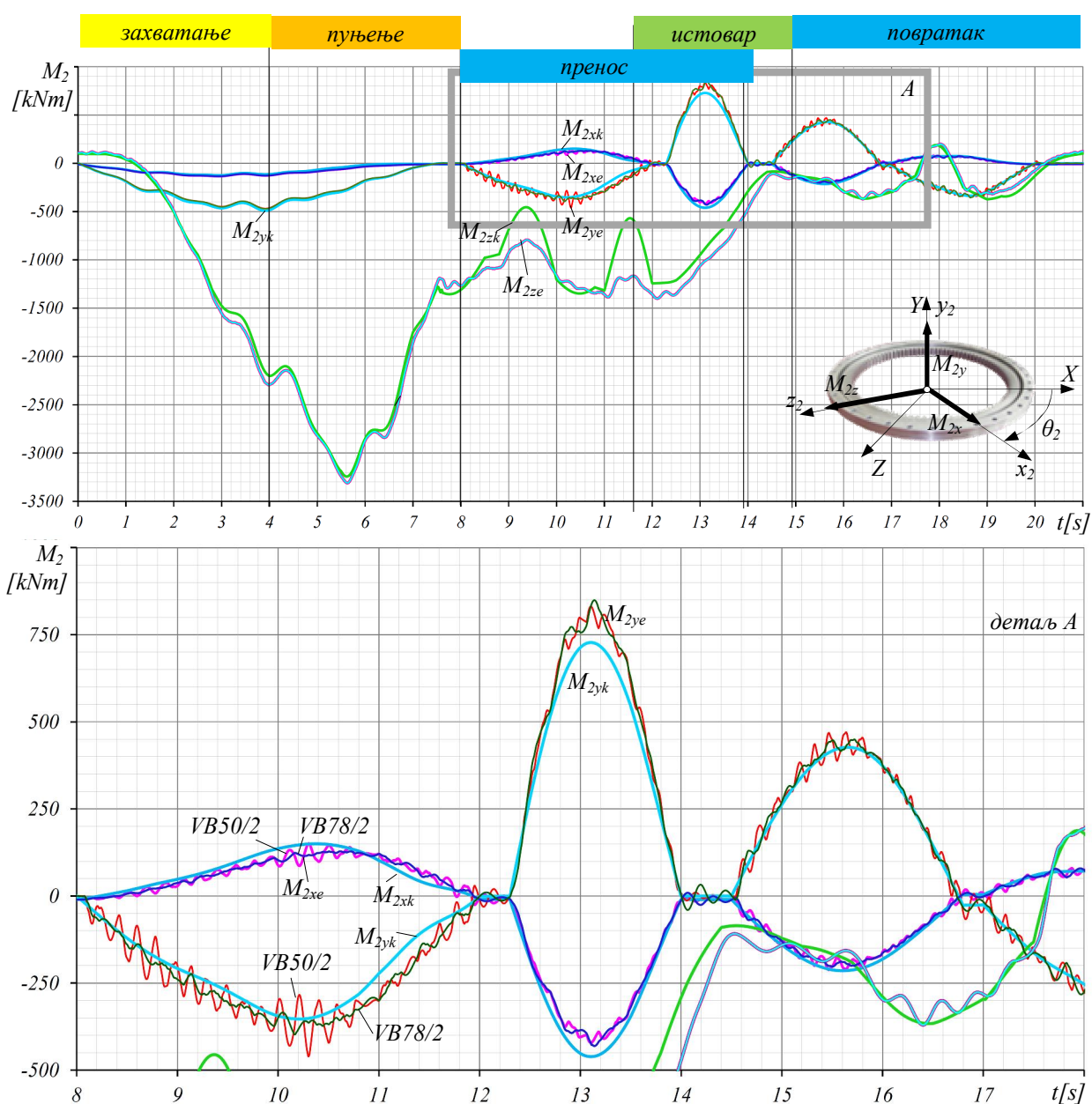
$$M_{2xk}, M_{2yk}, M_{2zk} \quad (. 5.14)$$

$F_{2xe}, F_{2ye}, F_{2ze}$

$M_{2xe}, M_{2ye}, M_{2ze}$

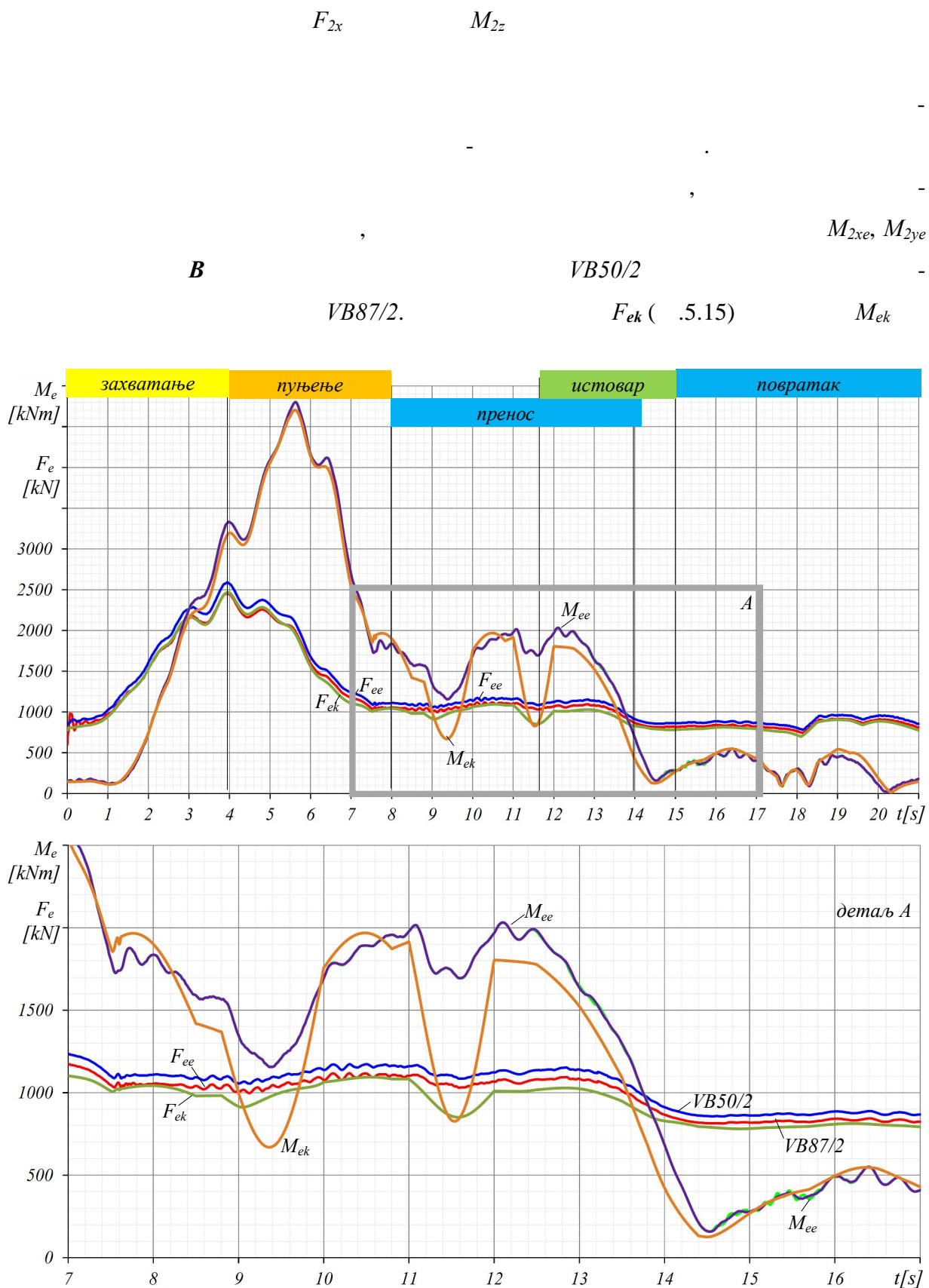
ADAMS

B

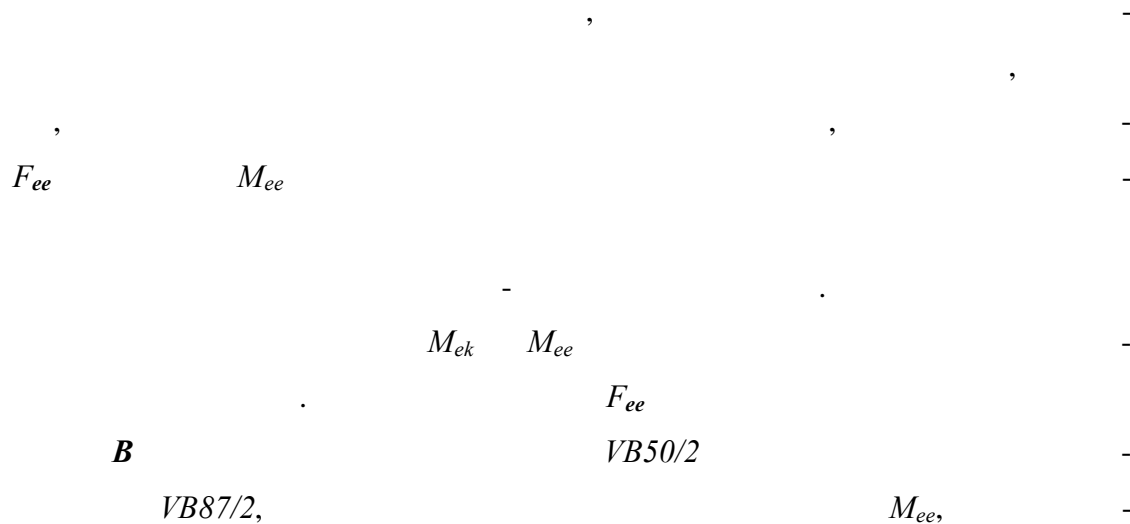


Сл.5.14 Моменти оптерећења аксијалног лежјаја варијанти погона платформе VB50/2 и VB87/2 одређени са крутим ($M_{2xk}, M_{2yk}, M_{2zk}$) и еластичним ($M_{2xe}, M_{2ye}, M_{2ze}$) математичким моделом багера **B**

VB50/2 VB87/2.



Сл.5.15 Еквивалентна оптерећења аксијалног лежаја варијанти погона платформе VB50/2 и VB87/2 одређена са крутим (F_{ek} , F_{ee}) и еластичним (M_{ek} , M_{ee}) математичким моделом багера **B**



5.3.4. Резултати синтезе погона платформе

- :
- , -
 - , -
 - , -

6. ЗАКЉУЧАК

()

a



.

,

,

,

.

,

:

,

,

.

)

-

.

-

-

-

.

(

-

.

-

-

-

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. C. Uzer: *Shape optimization of an excavator boom by using genetic algorithm*, master thesis, 2008, The graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university.
- [2] B. P. Patel, J. M. Prajapati: *A Review on FEA and optimization of backhoe attachment in hydraulic excavator*, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, 2011, vol. 3, no. 5, pp.505-511.
- [3] B. P. Patel, J. M. Prajapati: *Static analysis of mini hydraulic backhoe excavator attachment using fea approach*, International Journal of Mechanical Engineering and robotics research, 2012, vol.1, no.3, pp.163-175.
- [4] J.Y. Park, W.S. Yoo, H.W. Kim: *Matching of flexible multibody dynamic simulation and experiment of a hydraulic excavator*, Proceedings of ACMD 2004, pp. 459-463.
- [5] J. H. Kwak, B. J. Kim, J.O. Lee, H. K. Cho: *A study on the determination of design load for excavator attachments from field measurement*, 15th International Conference on Experimental Mechanics, 22-27 July 2012.
- [6] J. Maciejewski, A. Jarzebowski, W. Trampczynski: *Study on the efficiency of the digging process using the model of excavator bucket*, Journal of Terramechanics, 40 (2004), pp. 221ó 233.
- [7] Z. Jian-xin, Y. Cheng-yun, H. Huo-yan, Z. Xiang-fu: *Reducing-resistance mechanism of vibratory excavation of hydraulic excavator*, J. Cent. South Univ. Technol. 15(2008), pp. 535 539.
- [8] A.S. Hall, P.R McAree: *Robust bucket position tracking for a large hydraulic excavator*,/ Mechanism and Machine Theory. 40, (2005), pp. 1ó16.
- [9] D. Jano-évi , R. Mitrev, B. Andjelkovi , P. Petrov: *Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency*, Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). 13, 12(2012), pp. 926ó942.
- [10]Y. B. Kim, J. Ha, H. Kang, P. Young Kim, J. Park, F.C. Park: *Dynamically optimal trajectories for earthmoving excavators*, Automation in Construction, 2003, Vol. 35, pp.568-578.
- [11]V. Panov, R. Mitrev: *Theoretic-experimental approach to computation of digging force*, Recent, 2008, Vol. 9, No2, pp.59-66.
- [12]B. Park: *Development of a Virtual Reality Excavator Simulator: A mathematical model of excavator digging and a calculation methodology*, PhD Dissertation, 2002, Blacksburg, Virginia.

-
- [13] J. Maciejewski, A. Jarzcebowski: *Laboratory optimization of the soil digging process*, Journal of Terramechanics Vol. 39, 2002, pp. 161-179.
- [14] B. P. Patel, J. M. Prajapati: *Evaluation of bucket capacity, digging force calculations and static force analysis of mini hydraulic backhoe excavator*, Machine design, Vol.4, 2012, no.1, ISSN 1821-1259, pp. 59-66.
- [15] B. P. Patel, J. M. Prajapati: *An excavation force calculations and applications> an analytical approach*, International Journal of engineering science and technology, vol.3, no.5, 2011, pp 3831-3837.
- [16] B. P. Patel, J. M. Prajapati: *A review on kinematics of hydraulic excavator's backhoe attachment*, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 2011, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Vol.3, No.3, pp.1990-1997.
- [17] R. Mitrev, R. Gruychev, P. Pobegailo: *CAD/CAE investigation of a large hydraulic mining excavator*, Machine design, vol.3, no. 1, 2011, ISSN 1821-1259 pp. 17-22.
- [18] R. Mitrev, D. Jano-evi, D. Marinkovi: *Dynamical modelling of hydraulic excavator considered as a multibody system*, Tehni ki vjesnik 24, Suppl. vol. 2, 2017, pp.327-338.
- [19] H. Song, H. Xu: *Kinematical analysis of the excavator working device based on D-H methodology*, Construction Machinery, 2012, vol. 9, pp.87-90.
- [20] E. Assenov, E. Bosilkov, R. Dimitrov, T. Damianov: *Kinematics and Dynamics of Working Mechanism of Hydraulic Excavator*, University of Mining and Geology, St. Ivan Rilski, Annual, vol. 46, part , Mechanization, Electrification and Automation in Mines, Sofia, 2003, .47-49.
- [21] L. Plonecki, W. Trampczynski, J. Cendrowicz: *A concept of digital control system to assist the operator of hydraulic excavators*, Automation in Construction. 7, 1998, pp. 401-411.
- [22] P. H. Chang, Soo-Jin Lee: *A straight-line motion tracking control of hydraulic excavator system*, Mechatronics. 12, (2002), pp. 119-123.
- [23] Sung-Uk Lee, P. H. Chang: *Control of a heavy-duty robotic excavator using time delay control with integral sliding surface*, Control Engineering Practice. 10, (2002), pp. 697-711.
- [24] K. Jacek: *Swing-free stop control of the slewing motion of a mobile crane*, Control Engineering Practice. 13, 4 (2005), pp. 451-460.
- [25] Y. Bin, Z. Jiao, K. Douglas, L. John: *High Performance Swing Velocity Tracking Control Of Hydraulic Excavators*, American Control Conference, Philadelphia 1998, pp. 818-822.

-
- [26] C.G. Park, K. H. Lim: *A Simulation Environment for Excavator Dynamics*, MSC Software Virtual Product Development Conference 2004.
- [27] P. Göncz, M. Drobne, S. Glodez: *Computational model for determination of dynamic load capacity of large three-row roller slewing bearings*, Mechanism and Machine Theory, 2013, vol. 32, pp.44-53.
- [28] L. Kania, M. Krynski, E. Mazanek: *A catalogue capacity of slewing bearings*, Mechanism and Machine Theory, 2012, vol.58, pp. 29-45.
- [29] J. Aguirrebeitia, M. Abasolo, R. Aviles, I. Fernandez: *General static load capacity in slewing bearings unified theoretical approach for crossed roller bearings*, 13th World Congress in Mechanism and Machine Science, Guanajuato, México, 2011, 19-25 Jun.
- [30] S. Tkalini, M. Nikoli, G. Bošković: *Contribution of the Determination of the Load on Suspension Ring of the Underframe of the Hydraulic Excavator*, IMK-14 ó Research & Development in Heavy Machinery, vol. 20, no. 4, 2014. UDC 621 ISSN 0354-6829, pp. 129-133.
- [31] T. Smolnicki, M. Stacho, D. Derlukiewicz: *Distribution of loads in the large size bearing – problems of identification*, Tehnički vjesnik, vol. 20, no.5, 2013, pp. 831-836.
- [32] I. A. Jose, S. Xabier, D. Jorge: *Load distribution in a four contact-point slewing bearing*, Mechanism and Machine Theory, vol.38, no.6, 2003, pp.479-496.
- [33] R. Potonić, J. Flašker, and S. Glodež: *Fatigue analysis of large slewing bearing using strain-life approach*, 12th International Conference on Fracture, ICF12, 2009.
- [34] J. A. Knuth: *Rolling contact fatigue of low hardness steel for slewing ring application*, master's thesis, The University of Wisconsin-Milwaukee, 2013, May.
- [35] M. Krynski, J. Selejda, S. Borkowski: *The quality of materials applied for slewing bearing raceway*, technical paper, Materials Engineering - Materiálové inženýrstvo vo.19, 2012, pp.157-163.
- [36] M. Qiu, J. Yan, B. Zhao, L. Chen, Y. Bai: *A finite element analysis of the connecting bolts of slewing bearings based on the orthogonal method*, Journal of Mechanical Science and Technology, 2012, no.26, Vol.3, pp. 883-887.
- [37] M. Krynski, J. Selejda, S. Borkowski: *Determination of static limiting load curves for slewing bearing with application of the finite element method*, Materials Engineering - Materiálové inženýrstvo no.20, 2013, pp. 64-70.
- [38] R. Potonić, P. Göncz, S. Glodež: *Static capacity of a large double row slewing ball bearing with predefined irregular geometry*, Mechanism and Machine Theory, vol. 64, 2013, pp.67-79.

-
- [39]L. Kania: *Analysis of internal load of slewing bearings in respect of their load carrying capacity*, (in Polish), Wyd. Politechniki Cz stochońskiej, Cz stochowa, 2005.
- [40]Y. Wang, Q. Yuan: *Static load-carrying capacity and fatigue life of a double row pitch bearing with radial interference*, The Journal of Mechanical Engineering Science, 2014, vol. 228, no. 2, pp. 307-316.
- [41]M. Qiu, J. Yan, B. Zhao, L. Chen, Y. Bai: *A finite element analysis of the connecting bolts of slewing bearings based on the orthogonal method*, Journal of Mechanical Science and Technology, 2012, no.26, Vol.3, pp. 883-887.
- [42] P. Göncz, S. Glodéfi: *Calculation model for pre-stressed bolted joints of slewing bearings*, *Advanced Engineering*, no. 2, vol. 3, 2009, ISSN 1846-5900.
- [43] P.Reszka, L. Kania, R. Pytlarz: *Numerical analysis of the screw connection with preload tension used in the mounting of slewing bearings*, Journal of KONES Powertrain and Transport, 2012, vol. 19, no. 2, pp. 465-472.
- [44]J. Hossain: *Effects of Pretension in Bolt for a Slewing Bearing*, master thesis, 2014, Norwegian University of Science and Technology Department of Marine Technology.
- [45]Z. Chaib, A. Daidié, D. Leray: *Screw behavior in large diameter slewing bearing assemblies: numerical and experimental analyses*, International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2007, vol. 1, no. 1, pp. 21-31.
- [46]D. Wang, C. Guan, S. Pan, M. Zhang, X. Lin: *Performance analysis of hydraulic excavator powertrain hybridization*, 2009, Journal Automation in Construction, vol. 18, no. 3, pp. 249-257.
- [47]T. Lin, Q.Wang, B. Hu, W. Gong: *Development of hybrid powered hydraulic construction machinery*, 2010, Journal Automation in Construction, vol. 19, no. 1, pp. 11-19.
- [48]S. Hui, J. Junqing: *Research on the system configuration and energy control strategy for parallel hydraulic hybrid loader*, 2010, Journal Automation in Construction, vol. 19, no. 2, pp. 213-220.
- [49]Q. Xiao, Q. Wang, Y. Zhang: *Control strategies of power system in hybrid hydraulic excavator*, 2008, Journal Automation in Construction, vol. 17, no. 4, p. 361-367.
- [50]M. Kagoshima: *The development of an 8 tonne class hybrid hydraulic excavator SK80H*, 2013, Kobelco technology review, no 31, January 2013, pp.6-11
- [51]M.Wang, C. Larish: *Energy Recovery System for Excavators*, Fluid Power Innovation &

-
- Research Conference, 2015, http://nfpahub.com/events/wp-content/uploads/sites/2/2015/09/1.5.Wang_.M_Eatons_Energy_Recovery_System_for_Excavators_REV.pdf
- [52] C. Joo, M. Stangl: *Application of Power Regenerative Boom system to excavator*, 10th International Fluid Power Conference, Dresden 2016, Group 10 - Mobile Hydraulics, Paper 10-3, pp. 175-184.
- [53] W. Li, B. Cao, Z. Zhu, G. Chen: *A Novel Energy Recovery System for Parallel Hybrid Hydraulic Excavator*, Hindawi Publishing Corporation, Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 184909, 14 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/184909>.
- [54] M. Linjama, M. Huova, M. Pietola, J. Juhala, K. Huhtala: *Hydraulic hybrid actuator: theoretical aspects and solution alternatives*, The Fourteenth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 20-22, 2015, Tampere, Finland.
- [55] L. Jianqi: *An Energy-Saving Device Applied to the Swing System of Hydraulic Excavator*, Presented at the International Fluid Power Exposition and Technical Conference 24-26 March 1992.
- [56] CAT Magazine, https://www.cat.com/en_GB/articles/cat-magazine.html
- [57] Earthmoving Equipment Magazine, Kobelco, <http://www.earthmovers-magazine.com.au/>
- [58] Mining Magazine, Komatsu, <http://www.komatsuamerica.com/our-company/views-magazine>
- [59] C. Shike, A. Onodera, M. Takahashi: *Construction jobsites of the future developed by construction equipment manufacturer in centering intelligent Machine Control equipment (Introduction of SMARTCONSTRUCTION)*, Komatsu Technical report 2016 vol. 61 no.168, <https://home.komatsu/en/company/tech-innovation/report/pdf/168-E01.pdf>
- [60] Y. Shimano, Y. Kami, K. Shimokaze: *Development of PC210LCi-10/PC200i-10 Machine Control Hydraulic Excavator*, Komatsu Technical report 2014 vol. 60 no.167, <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/167-E01.pdf>
- [61] Catalog Rothe Erde, *Slewing Bearings*, GmbH D-44137 Dortmund, 2007, https://www.thyssenkrupp-rotheerde.com/gb/produkte_gwl.shtml
- [62] Catalog INA, *Slewing Bearings*, Schaeffler Technologies AG & Co. KG Herzogenaurach, Germany.
- [63] Catalog Kaydon, *Slewing Ring Bearings*, Corporation Issue 11, https://www.thyssenkrupp-rotheerde.com/gb/produkte_gwl.shtml
- [64] Catalog SKF, <http://www.skf.com/group/knowledge-centre/media-library/index.html#tcm:12-182061>
-

-
- [65] Bosch Rexroth, The Drive & Control Company. - Bosch Rexroth AG,
<https://www.boschrexroth.com/en/xc/>, , pristupljeno 2017.
- [66] Bonfiglioli: Gearmotors, gearboxes, motors, inverters, electric motors,
<https://www.bonfiglioli.com/en/>, pristupljeno 2017.
- [67] Linde Group, Gases Engineering Healthcare, <http://www.linde.com/en/index.html>
- [68] Kawasaki Precision Machinery (USA), Inc. <https://www.kpm-usa.com/>
- [69] D. Jano-evi : *Projektovanje mobilnih mašina*, 2006, Ma-inski fakultet, Univerzitet u Ni-u, ISBN 868058744-3.
- [70] D. Jano-evi , V. Jovanovi : *Sinteza pogonskih mehanizama hidrauličkih bagera*, 2015, Ma-inski fakultet, Univerzitet u Ni-u, ISBN 978-86-6055-067-7
- [71] M. Vukobratovi , D. Stoki . N. Kir anski, M. Kir anski, D. Hristi , B. Karan, D. Vuji , M. urovi : *Uvod u robotiku*, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, 1986.
- [72] R. N. Jazar: *Theory of Applied Robotics*, 2nd.ed., DOI 10.1007/978-1-4419-1750-8_12, Springer Science+Business Media, LLC 2010.
- [73] H.H. Mabie, F.W. Ocvirk: *Mehanizam i dinamika mašina*, prevela dr Kosara Joji , Vuk Karadfi , 1973. Beograd.
- [74] D. Jano-evi : *Optimalna sinteza pogonskih mehanizama hidrauličnih bagera*, doktorska disertacija 1997, Ma-inski fakultet, Univerzitet u Ni-u.
- [75] A. Hall: *Characterizing the operation of a large hydraulic excavator, master thesis, 2003*, School of Engineering The University of Queensland Brisbane, Australia.
- [76] P. B. Prahladbhai: *Design and structural optimization of backhoe attachment of mini hydraulic excavator for construction work*, thesis PhD, Department of mechanical engineering Shri Jagdishprasad Jhabarmal Tibrewala University, Vidyanagari, Jhunjhunu, Rajasthan ó 333001, 2012.
- [77] L. Biagiotti, C. Melchiorri: *Trajectory Planning for Automatic Machines and Robots*, 2008. Springer.
- [78] D. H. Myszka: *Machines and mechanisms applied kinematic analysis*, fourth edition, 2012, University of Dayton, ISBN 13: 978-0-13-215780- Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, One Lake Street, Upper Saddle River, New Jersey, 07458.
- [79] . . . , . . . , : . . . , - , 1992, .
- [80] Society of Automotive Engineers (SAE International), SAE J29: *Excavator hoe bucket rating*, November 1984.

-
- [81] <http://www.coastlinecd.com/pdf/LiebherrMaterialHandlerRSeries/R974CCrawlerExcavator.pdf>, pristupljeno 2014.
- [82] https://www.youtube.com/watch?v=2Y_A8zCWLRk, pristupljeno 2014.
- [83] Komatsu Introduces the World's First Hydraulic Excavator: Hybrid Evolution Plan for Construction Equipment. Available online:
<http://www.komatsu.com/CompanyInfo/press/2008051315113604588.html>
- [84] T. Lin, Q. Wang, B. Hu, W. Gong: *Research on the energy regeneration systems for hybrid hydraulic excavators*, 2010, Journal Automation in Construction, vol. 19, pp. 1016-1026.
- [85] Y. B. Kim, P.Y. Kim, H. Murrenhoff: *Boom potential energy regeneration scheme for hydraulic excavators*. In Proceedings of the ASME/BATH 2016 Symposium on Fluid Power and Motion Control, Bath, UK, 7-9 September 2016.
- [86] V. Jovanovi, D. Jano-evi, J. Pavlovi, N. Petrovi: *Definition of directed digging force for assessment of the hydraulic excavator work*, The 8th International Symposium - KOD 2014, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Slovak University of Technology in Bratislava International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science ó IFToMM Association for Design, Elements and Constructions ó ADEKO, 12.06.-15.06.2014., pp. 51-54.
- [87] V. Jovanovi, D. Jano-evi, N. Petrovi: *Analysis of axial bearing load of a rotating platform drive in hydraulic excavators*, Tehni ki vjesnik/Technical Gazette 2013., 1330-3651, Univerzitet u Osijeku, Fakultet u Slavonskom Brodu, No.2, Vol.21., pp. 263-270.
- [88] V. Jovanovi, D. Jano-evi, D. Marinkovi: *Determination of the Load Acting on the Axial Bearing of a Slewing Platform Drive in Hydraulic Excavators*, Acta Polytechnica Hungarica Vol. 12, No.1, pp.5-22, 2015.
- [89] D. Jano-evi, V. Jovanovi, N. Petrovi: *Spectrums of axial bearing load of a rotating platform drive in hydraulic excavators*, International journal of science and technology, Scientia Iranica, 2015, Sharif University of Technology, Tehran, I.R. Iran, , Vol.22, No.3. pp. 825-834.
- [90] L. V. Larsson: *Simulation and testing of energy efficient hydromechanical drivelines for construction machinery*, Master Thesis, Department of Management and Engineering, Linköping University, Institute of technology, 2014
- [91] J. S. Marinovi: *Vi-ekriterijumska optimizacija zup astih parova planetarnih prenosnika*, doktorska disertacija, Univerzitet u Ni-u, Ma-inski fakultet, 2008, Ni-

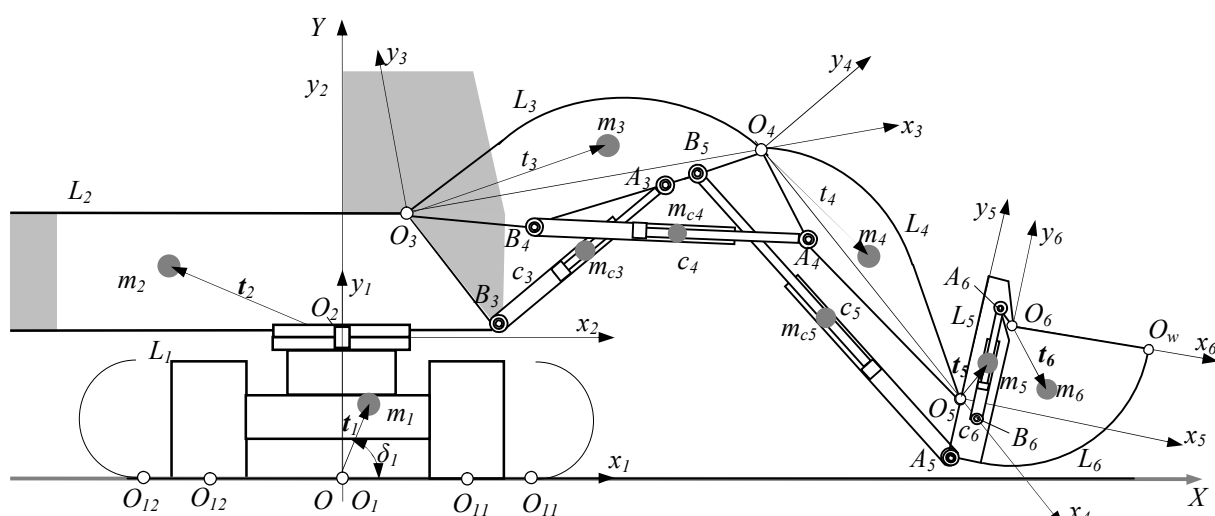
-
- [92] J. S. Marinovi : Planetarni prenosnici, Univerzitet u Ni-u, Ma-inski fakultet, ISBN 978-86-60550-73-8, 2017, Ni-
- [93] Modeling of Hydraulic Systems, *Tutorial for the Hydraulics Library*, Modelon 2013, <https://www.maplesoft.com/products/toolboxes/modelon/HydraulicsLibraryTutorial.pdf>, pristupljeno 2014.
- [94] P. V. Fiivkovi , Istraživanje gubitaka energije i razaranja delova planetarnih prenosnika snage, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Ma-inski fakultet, 2006, Beograd.
- [95] C. Jodder, Dr. J. Saha: *Structural analysis of three stage coupled planetary gear train and determination of efficiency*, International Journal of Engineering Research, ISSN:2319-6890, Vol. No.5, Issue No.9, 2016, pp. 746-748.
- [96] R. Tšlmi : Prilog istraživanju dinami kih opere enja nose e konstrukcije auto-dizalice sa specijalnom (oja anom) –asijom, hidropogonom i teleskopskom strelom, doktorska disertacija, Ma-inski fakultet, Beograd, 1979.
- [97] H. Dörr, E. Ewald, J. Hutter, D. Kretz, F. Liedhegener, A. Schmitt: Tehnika proporcionalnih ventila i servoventila, Mannesmann Rexroth GmbH, 1986.
- [98] F. Holzweißig, H. Dresig: *Lehrbuch der Maschinendynamik*, Veb Fachbuchverlag Leipzig, 1979.
- [99] Houman H.: *Hydraulic Formulary*, Rexroth Bosch Group, 10.01.2013.
- [100] Fluids and Lubricants I technical information, Catalogs Turolla, 2013, http://turollaocg.com/files/Catalogs/Turolla_Hydraulic_Fluids_and_Lubricants_L1021414_Web.pdf, , pristupljeno 2017.
- [101] Mr M. Stojilkovi : NIS-Rafinerija nafte Novi Sad, Klasifikacije i specifikacije motornih ulja ruskih proizvo a a <https://www.nisotec.eu/sites/default/files/files/Biblioteka/Ruske%20specifikacije%20ulja.pdf>
- [102] <http://www.mscsoftware.com/product/adams>, pristupljeno 2017.
- [103] Dr. H. Haut: *Example of a Developed MSC.ADAMS Plug-in Giving an Efficient Solution to Customers*, <https://web.mscsoftware.com/events/vpd2007/emea/presentations/Session-4B-SIMERTIS-Haut.pdf>
- [104] N. Sepehri, F. Sassani, P. D. Lawrence, A. Ghasemipoor: *Simulation and Experimental Stick-Slip Friction in Hydraulic Excavator Swing Motion*, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol.118, 1996, pp.463-467.

ПРИЛОЗИ

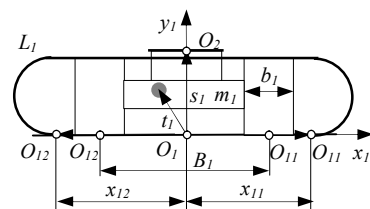
Табела III Параметри хидрауличких багер светских произвођача [61][62][63]

	kg	kW		G*	*	G/T	km/h	min ⁻¹	kNm			
CATERPILLAR												
300.9D	985	13,7	170	•		1,8		8		•		•
301.4C	1558	13,2	200	•		2,5				•		•
302.7D CR	2670	17,9	200	•		3,8				•		•
303.5 E CR	3692	23,6	245	•		2,6		9		•		•
304E CR	4009	30	245	•		2,6		9		•		•
305.5E CR	5415	32,9	245	•		2,8		9		•		•
311FLRR	13900	54	305	•		5,4		10	30,9	•		•
M313D	16200	95	305	•	•	3,7		10,5	35	•		•
316EL	17600	89	305	•		5,2		9,3	44,7	•		•
M316D	19200	118	305	•	•	3,7		10,5	40	•		•
320E L	24730	122	380	•		5,6		11,2	61,8	•		•
326FL	29407	149	380	•		5,3		9	73,4	•		•
336E H	37200	230	380	•		4,9		9	109,0	•		•
349FL	53300	295	380	•		4,7		8,7	148,5	•		•
374FL	75170	352	370	•		4,1		6,5	215,0	•	•	•
390FL	86275	391	350	•		4,5		6,2	260,0	•	•	•
6015 FS	105000	522	310	•		2,7		5,1		•	•	•
6018 FS	202000	824	310	•		2,3		4,7		•	•	•
6030 FS	324000	1140	310	•		2,7		4,6		•	•	•
6040 FS	405000	1516	310	•		2,5		4,7		•	•	•
6050 FS	592000	1800	300	•		2,3		3,8		•	•	•
6060 FS	627000	2240	300	•		2,0		3,8		•	•	•
LIEBHERR												
A 900 C	19600	95	350	•		3,0		9	42	•		•
A 924	26500	129	350	•	•					•		•
R 936	34750	160	350	•		5,2		10	95	•		•
R 946	41950	200	375	•		5,9		10	125	•		•
R 956	57100	240	375	•		3,5		6,1	165	•	•	•
R 970 SME	78600	330	370	•		3,5		5,6	233	•	•	•
R 980 SME	97800	420	370	•		3,7		5,9	295	•	•	•
R 984 C	120100	504	350	•		2,9		5,2		•	•	•
R 9250	250000	960	375	•		2,7		4,4		•	•	•
R 9350	310000	1120	370	•		3,3		3,9		•	•	•
R 995	441000	1600	370	•		2,7		3,7		•	•	•
R 996 B	676000	2240	350	•		2,2		3,5		•	•	•
R 9800	810000	2984	350	•		2,6		3,6		•	•	•
KOMATSU												
PC09-1	1080	6,8	170	•		3				•		•
PC26MR-3	2800	15,7	225	•		4		8,9		•		•
PC55MR-3	5350	29,5	245	•		4,6		9		•		•
PC80MR-3	8000	47,4		•	•	4,9		10,2		•		•
PW118MR-8	12885	72		•	•	3,0		8,5		•		•
PW148-8	15750	90		•	•	3,5		11	31	•		•
HB215LC-1	21220	110		•		5,5		12,4	69	•		•
PW200-7	22100	134		•	•	3,5		12,4	68	•		•
PC290LC	32230	159		•		5,5		10,5	88	•		•
PC490	48400	270		•		5,5		9,4	132	•	•	•
PC700LC-8	67100	323		•		4,6		8,3		•	•	•
PC800-8	84700	370		•		4,2		6,8		•	•	•
PC1250-8	110900	515		•		3,2		5,5		•	•	•
PC2000-8	204120	728		•		2,7		4,8		•	•	•

G* - кретни механизам на гусеницама T* - кретни механизам на пнеуматицима

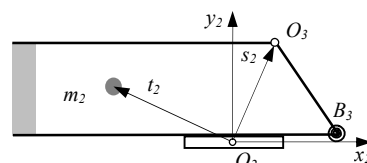


Сл. III Математички модел хидрауличких багера А и В са гусеничним ослоно-кретним механизмом и утоварним манипулятором



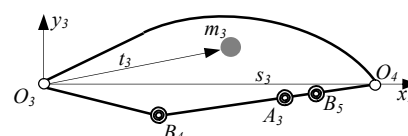
Табела II2 Параметри ослоно-кретног члана L_1 (сл. III)

				A	B
x	O_2	x_{s2}	m	0,000	0,000
y	O_2	y_{s2}	m	1,635	1,635
z	O_2	z_{s2}	m	0,000	0,000
		B_1	m	3,600	3,600
		b_1	m	0,500	0,600
		x_{11}	m	2,385	2,517
		x_{12}	m	-2,385	-2,517
x		x_{t1}	m	-0,130	-0,130
y		y_{t1}	m	0,800	0,800
z		z_{t1}	m	0,000	0,000
		m_1	kg	31895,000	42895,000
		J_{1xx} J_{1xy} J_{1xz}		97201,2 459,1 -44,2	104005,0 491,2 -47,3
		J_{1yx} J_{1yy} J_{1yz}	kgm ²	459,1 182828,6 17,8	491,2 1956266,0 19,0
		J_{1zx} J_{1zy} J_{1zz}		-44,2 17,8 101765,2	-47,3 19,0 1088887,6



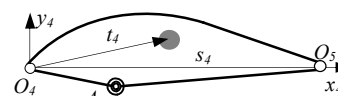
Табела ПЗ Параметри обртне платформе L_2 (сл.п.1)

				A			B		
x	O_3	x_{s3}	m	0,310			0,310		
y	O_3	y_{s3}	m	1,300			1,300		
z	O_3	z_{s3}	m	0,000			0,000		
x	C_3	x_{B3}	m	1,245			1,245		
y	C_3	y_{B3}	m	0,200			0,200		
x		x_{t1}	m	-2,850			-2,850		
y		y_{t1}	m	0,740			0,740		
z		z_{t1}	m	-0,030			-0,030		
L_2		m_2	kg				34805,000		
		J_{2xx} J_{2xy} J_{2xz}		40769,6	-1278,1	-6517,6	40769,6	-1278,1	-6517,6
		J_{2yx} J_{2yy} J_{2yz}	kgm ²	-1278,1	133370,8	-809,3	-1278,1	133370,8	-809,3
		J_{2zx} J_{2zy} J_{2zz}		-6517,6	-809,3	108283,2	-6517,6	-809,3	108283,2



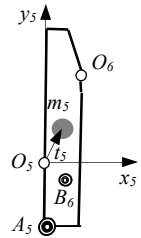
Табела П4 Параметри стреле L_3 (сл.п.1)

				A			B		
x	O_4	x_{s4}	m	4,640			4,640		
y	O_4	y_{s4}	m	0,000			0,000		
z	O_4	z_{s4}	m	0,000			0,000		
x	C_3	x_{A3}	m	3,600			3,600		
y	C_3	y_{A3}	m	-0,130			-0,130		
x	C_4	x_{B4}	m	1,590			1,590		
y	C_4	y_{B4}	m	-0,300			-0,300		
x	C_5	x_{B5}	m	4,110			4,110		
y	C_5	y_{B5}	m	-0,065			-0,065		
x		x_{i3}	m	2,575			2,575		
y		y_{i3}	m	0,335			0,335		
z		z_{i3}	m	0,000			0,000		
L_3		m_3	kg				7290,000		
		J_{3xx} J_{3xy} J_{3xz}		3130,2	745,5	0,0	3130,2	745,5	0,0
		J_{3yx} J_{3yy} J_{3yz}	kgm ²	745,5	16951,6	0,0	745,5	16951,6	0,0
		J_{3zx} J_{3zy} J_{3zz}		0,0	0,0	16339,6	0,0	0,0	16339,6



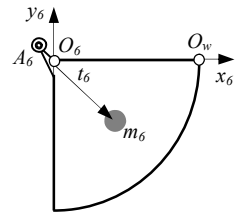
Табела П5 Параметри руке L_4 (сл.п.1)

				A			B		
x	O_5	x_{s5}	m	3,375			3,375		
y	O_5	y_{s5}	m	0,000			0,000		
z	O_5	z_{s5}	m	0,000			0,000		
x	C_4	x_{A4}	m	1,030			1,030		
y	C_4	y_{A4}	m	-0,330			-0,330		
x		x_{t4}	m	1,440			1,440		
y		y_{t4}	m	0,160			0,160		
z		z_{t4}	m	0,000			0,000		
L_4		m_4	kg				4615,000		
Моменти инерције		J_{4xx} J_{4xy} J_{4xz}		1523,0	-50,0	0,0	1523,0	-50,0	0,0
		J_{4yx} J_{4yy} J_{4yz}	kgm ²	-50,0	5549,9	0,0	-50,0	5549,9	0,0
		J_{4zx} J_{4zy} J_{4zz}		0,0	0,0	5095,3	0,0	0,0	5095,3



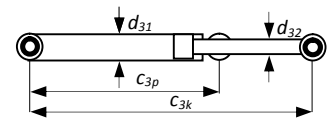
Табела П6 Параметри плоче каишке L_5 (сл.п.1)

			A			B			
		b_5	m		2,350			3,200	
x	O_6	x_{s6}	m		0,580			0,580	
y	O_6	y_{s6}	m		0,665			0,665	
z	O_6	z_{s6}	m		0,000			0,000	
x	C_5	x_{A5}	m		0,000			0,000	
y	C_5	y_{A5}	m		-0,635			-0,635	
x	C_6	x_{B6}	m		0,300			0,300	
y	C_6	y_{B6}	m		-0,500			-0,500	
x		x_{l5}	m		0,335			0,335	
y		y_{l5}	m		0,123			0,123	
z		z_{l5}	m		0,000			0,000	
L_3		m_5	kg		4180,000			4969,000	
		J_{sxx} J_{syy} J_{szz}		4583,0	54,7	0,0	7376,5	44,7	0,0
		J_{syz} J_{sxy} J_{syx}	kgm^2	54,7	2346,0	0,0	44,7	4558,3	0,0
		J_{syz} J_{sxy} J_{szz}		0,0	0,0	22482,1	0,0	0,0	3092,3



Табела П7 Параметри чељусту каишке L_6 (сл.п.1)


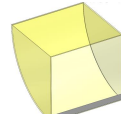
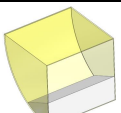
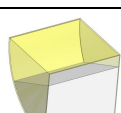
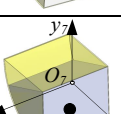
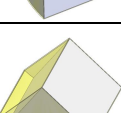
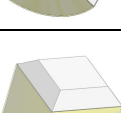
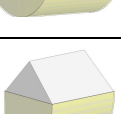
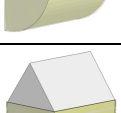
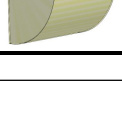
			A			B			
		V	m^3		4,4			6,5	
		b_6	m		2,350			3,200	
x	O_w	x_{sw}	m		1,600			1,600	
y	O_w	y_{sw}	m		0,000			0,000	
z	O_w	z_{sw}	m		0,765			1,050	
x	C_6	x_{A6}	m		-0,300			-0,300	
y	C_6	y_{A6}	m		0,060			0,060	
x		x_{l6}	m		0,700			0,790	
y		y_{l6}	m		-0,890			-0,930	
z		z_{l6}	m		0,000			0,000	
L_6		m_6	kg		4205,000			5065,000	
		J_{6xx} J_{6yy} J_{6zz}		3699,5	12,4	0,0	7287,7	58,1	0,0
		J_{6yx} J_{6yy} J_{6yz}	kgm^2	12,4	4005,8	0,0	58,1	7617,2	0,0
		J_{6zx} J_{6zy} J_{6zz}		0,0	0,0	1887,3	0,0	0,0	2145,5



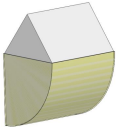
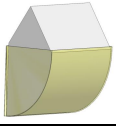
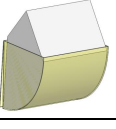
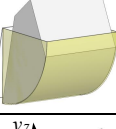
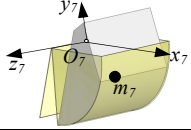
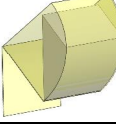
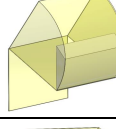
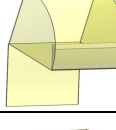
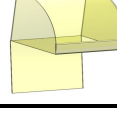
Табела П8 Параметри хидраоцилиндара c_i (сл.п.1)

			A, B			
			C_3	C_4	C_5	C_6
	d_{i1}	m	0,280	0,250	0,220	0,180
	d_{i2}	m	0,200	0,180	0,160	0,125
	c_{ip}	m	2,800	2,300	3,150	0,950
	c_{ik}	m	4,500	3,500	4,100	1,195
	m_{ci}	kg	1100	450	625	300
	n_{ci}	-	2	2	2	2


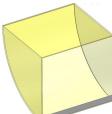
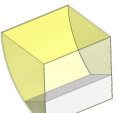
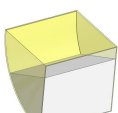
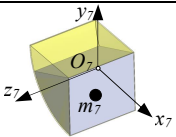
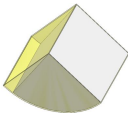
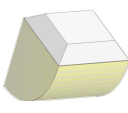

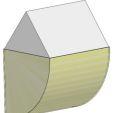
Табела П9 Параметри захваћеног материјала при операцији копања варијанте багера А

	[s]	[m]			[kg]	[kgm ²]		
	<i>t</i>	<i>x</i> ₁₇	<i>y</i> ₁₇	<i>z</i> ₁₇	<i>m</i> ₇	<i>J</i> _{xx}	<i>J</i> _{yy}	<i>J</i> _{zz}
						<i>J</i> _{yx}	<i>J</i> _{xy}	<i>J</i> _{yz}
						<i>J</i> _{zx}	<i>J</i> _{zy}	<i>J</i> _{yz}
	0	1,600	-0,052	0	0,000	0	0	0
	1,000	1,570	-0,052	0	45,155	12.252	-0.026	0
	2,000	1,361	-0,287	0	1123.614	-0.026	12.243	0
	3,000	1,016	-0,487	0	4220.569	0	0	0.111
	4,000	0,853	-0,559	0	6031.068	346.392	-6.037	0
	5,000	0,755	-0,644	0	7343.392	-6.037	324.299	0
	6,000	0,704	-0,576	0	9464.315	0	0	63.939
	7,000	0,709	-0,464	0	10664.800	1587.114	-19.315	0
	8,000	0,720	-0,400	0	11366.050	-19.315	1507.045	0
						0	0	815.051


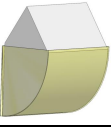
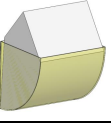
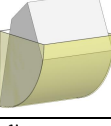
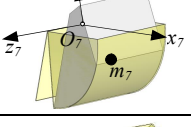
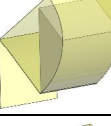
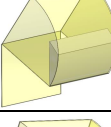
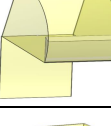
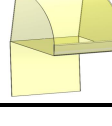
Табела П10 Параметри материјала при операцији истовара варијанте багера А

	[s]	[m]			[kg]	[kgm ²]		
	<i>t</i>	<i>x</i> ₁₇	<i>y</i> ₁₇	<i>z</i> ₁₇	<i>m</i> ₇	<i>J</i> _{xx}	<i>J</i> _{yy}	<i>J</i> _{zz}
	11.500	0.720	-0.400	0	11366.050	7141.370	735.480	0
						735.480	4949.220	0
						0	0	5952.920
	12.000	0.750	-0.390	0	10985.820	6891.340	628.590	0
						628.590	4657.700	0
						0	0	5616.700
	12.500	0.710	-0.372	0	10583.572	6626.163	527.258	0
						527.258	4368.079	0
						0	0	5279.113
	13.000	0.870	-0.320	0	8934.280	5527.100	219.160	0
						219.160	3344.090	0
						0	0	4046.670
	13.500	0.980	-0.270	0	7075.950	4254.310	36.490	0
						36.490	2421.410	0
						0	0	2854.700
	14.050	1.250	-0.270	0	2986.560	1376.380	6.530	0
						6.530	878.370	0
						0	0	642.010
	14.400	1.470	-0.240	0	725.760	244.350	1.820	0
						1.820	189.960	0
						0	0	51.040
	14.850	1.560	-0.180	0	171.310	50.030	0.160	0
						0.160	46.370	0
						0	0	4.160
	15.000	1.603	-0.105	0	24.929	6.884	0.050	0
						0.050	6.732	0
						0	0	0.155

Табела III Параметри захваћеног материјала при операцији копања варијанте багера В

	[s]	[m]			[kg]	[kgm ²]		
	<i>t</i>	<i>x_{t7}</i>	<i>y_{t7}</i>	<i>z_{t7}</i>	<i>m₇</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{xv}</i>	<i>J_{xz}</i>
						<i>J_{yx}</i>	<i>J_{vy}</i>	<i>J_{yz}</i>
						<i>J_{zx}</i>	<i>J_{zy}</i>	<i>J_{zz}</i>
	0	1.612	-0.001	0	0	0	0	0
	1.00	1.572	-0.052	0	58.137	46.336	-0.033	0
	2.00	1.366	-0.293	0	1446.651	-0.033	46.324	0
	3.00	1.024	-0.492	0	5433.982	0	0	0.144
	4.00	0.853	-0.559	0	77655	1206.450	-7.776	0
	5.00	0.753	-0.640	0	9454.628	-7.776	1178.211	0
	6.00	0.714	-0.572	0	12308.676	0	0	82.322
	7.00	0.707	-0.498	0	13215.484	4899.992	-24.877	0
	8.00	0.716	-0.458	0	13743.874	-24.877	4796.830	0
						0	0	1049.381
						7237.366	15.643	0
						15.643	7223.763	0
						0	0	2104.295
						9121	316.190	0
						316.190	9020.521	0
						0	0	3095.895
						12533.380	732.212	0
						732.212	11798.732	0
						0	0	5198.452
						13783.033	757.366	0
						757.366	12202.890	0
						0	0	6115.976
						14549.764	872.172	0
						872.172	12473.431	0
						0	0	6787.208

Табела П12 Параметри материјала при операцији истовара варијанте багера В

	[s]	[m]			[kg]	[kgm ²]		
	<i>t</i>	<i>x_{t7}</i>	<i>y_{t7}</i>	<i>z_{t7}</i>	<i>m₇</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{xy}</i>	<i>J_{xz}</i>
						<i>J_{yx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{yz}</i>
						<i>J_{zx}</i>	<i>J_{zy}</i>	<i>J_{zz}</i>
	11.50	0.716	-0.459	0	13743.873	14548.274	873.858	0
						873.858	12474.851	0
						0	0	6787.208
	12.00	0.742	-0.451	0	13254.5	13992.161	755.640	0
						755.640	11844.662	0
						0	0	6379.164
	12.50	0.770	-0.432	0	12737.77	13403.102	646.260	0
						646.260	11205.105	0
						0	0	5969.331
	13.00	0.877	-0.391	0	10645.35	11024.47	318.650	0
						318.650	8844.691	0
						0	0	4480.810
	13.50	0.990	-0.342	0	8367.94	8463.632	120.0210	0
						120.021	6624.410	0
						0	0	3081.065
	14.05	1.253	-0.301	0	3661.73	3366.519	20.586	0
						20.586	2805.868	0
						0	0	738.486
	14.40	1.474	-0.240	0	921.73	776.372	2.541	0
						2.541	719.911	0
						0	0	64.148
	14.85	1.559	-0.177	0	219.773	178.855	0.280	0
						0.280	173.842	0
						0	0	5.309
	15.00	1.609	-0.087	0	16.637	13.297	0.002	0
						0.002	13.232	0
						0	0	0.066

Прилог П13 Методологија и резултати испитивања

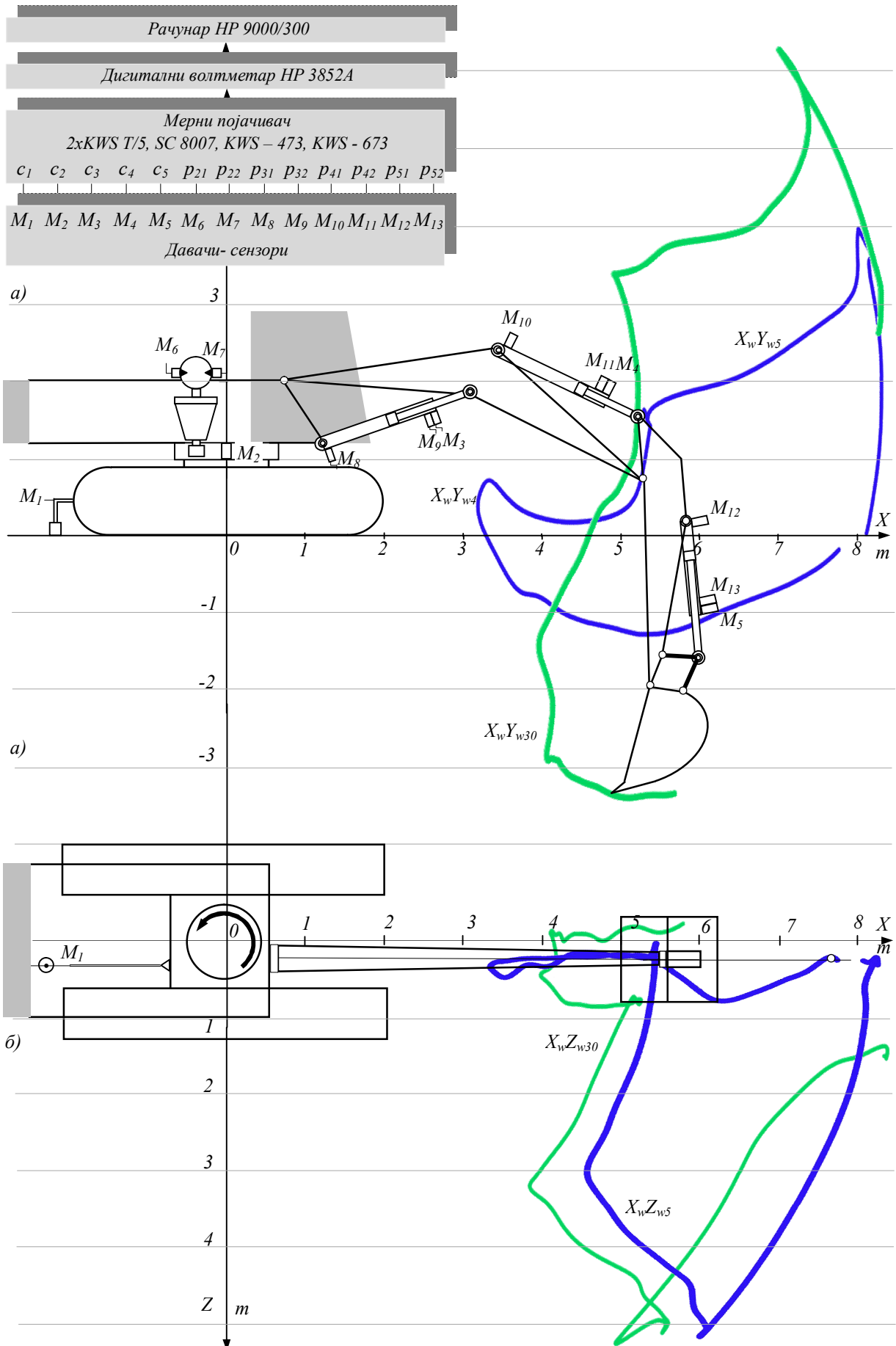
"14. " - , - 600 -
 . 13 [72].
 - 600
 Е. , (. 2а),
 : c_1 (. 2),
 c_2 , а c_3 ,
 c_4 c_5 p_{21} p_{22}
 p_{31} p_{32} , p_{41} p_{42}
 p_{51} p_{52} . 42 (. 2),
 13.2) 5 30
 (. 2).
 $\Delta t = 0,032s$.

Табела П13.1 Методологија и резултати испитивања [72]

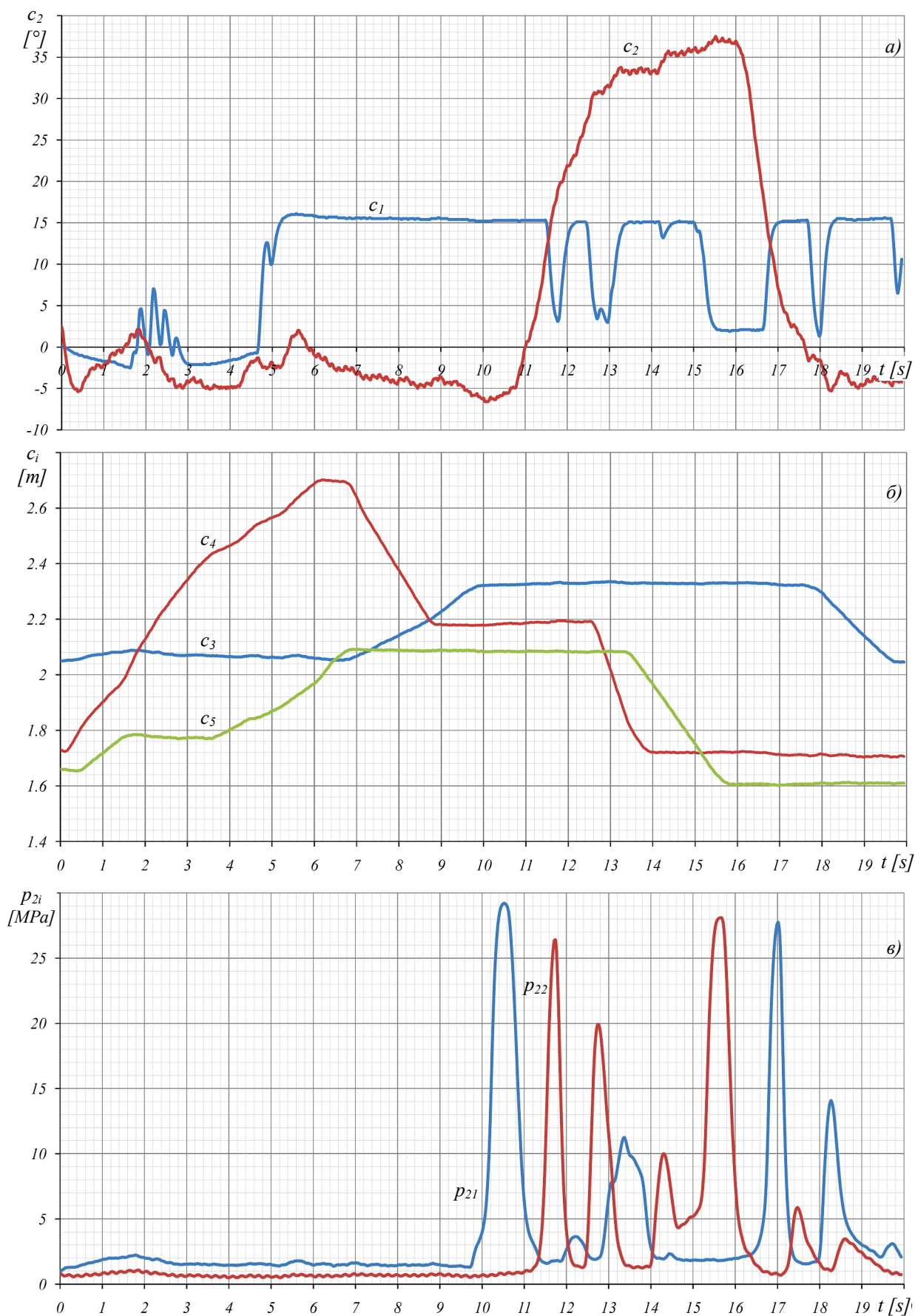
"14.	" -	- 600
, (kg)		16000
, (m ³)		0,63
, (kW/min ⁻¹)		70/2000
, (l/min)		2x120
, (MPa)		30
, (min ⁻¹)		10
, (kNm)		50

Табела П13.2 Методологија и резултати испитивања [72]

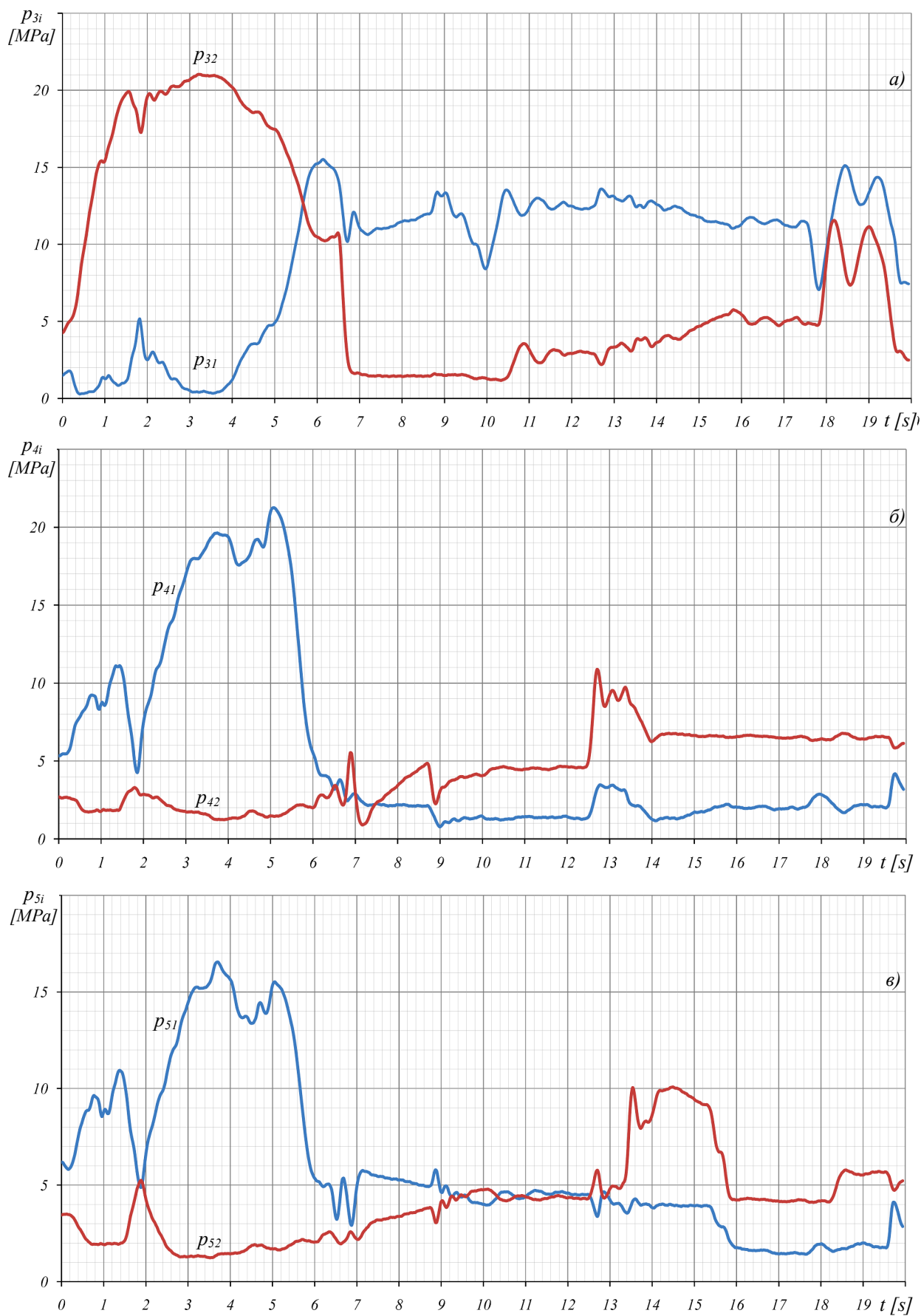
			М
1	.	. $c_2=0^\circ$	1 - 31
2	.	. $c_2=0^\circ$	21
3	1-32, 1/4		32 - 35
4		-	36
5			37 - 39
6		. $c_2=90^\circ$	40
7		. $c_2=\pm 30^\circ$	41
8		. $c_2=90^\circ$	42



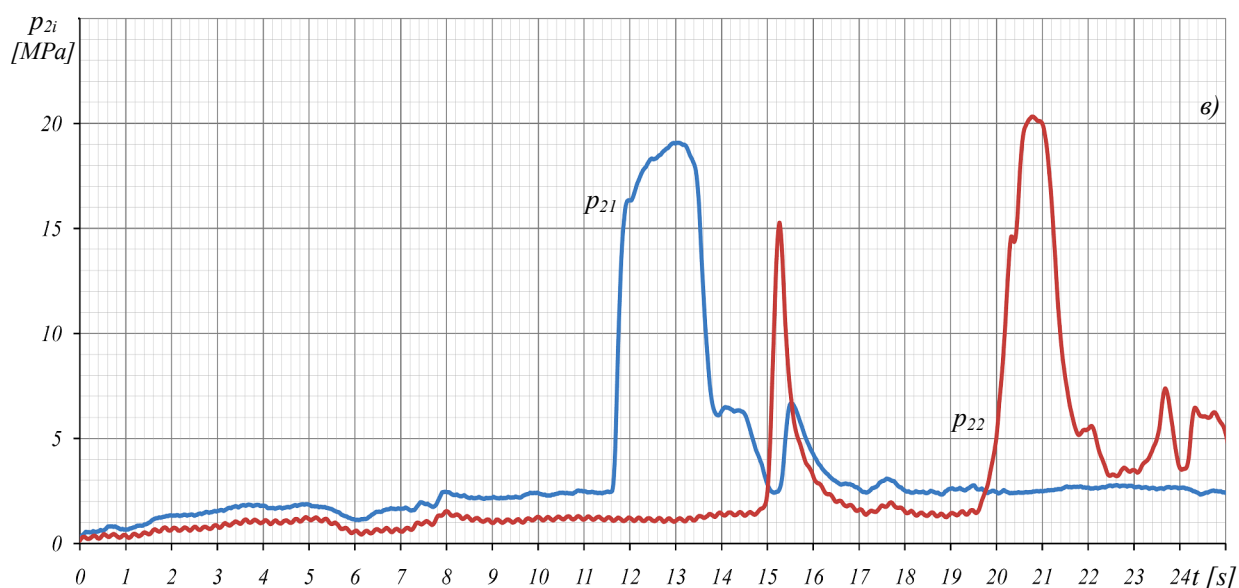
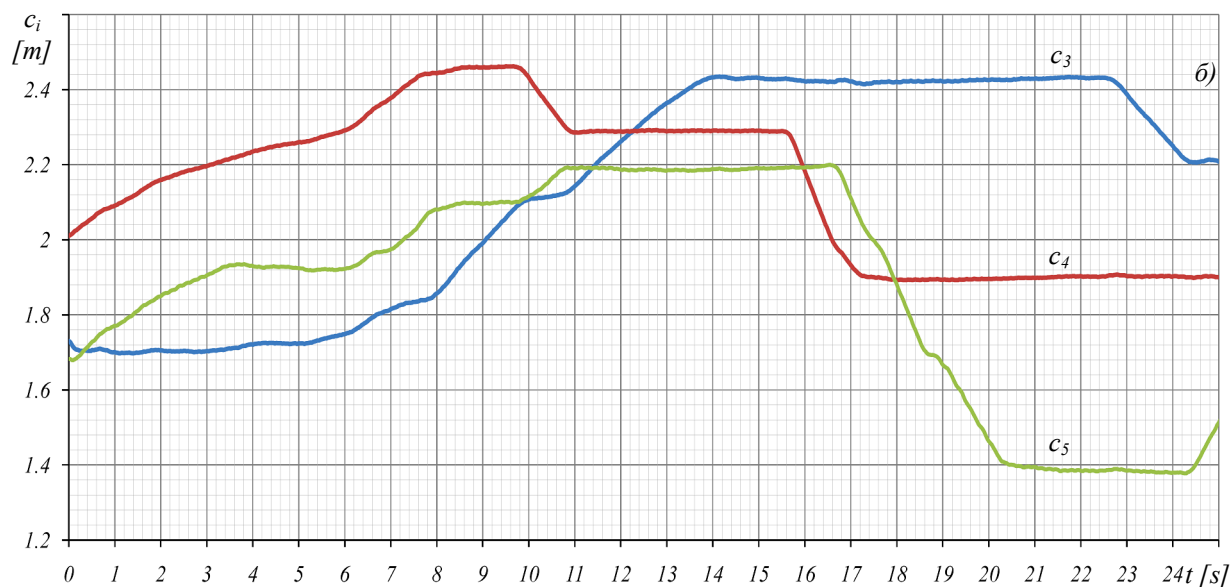
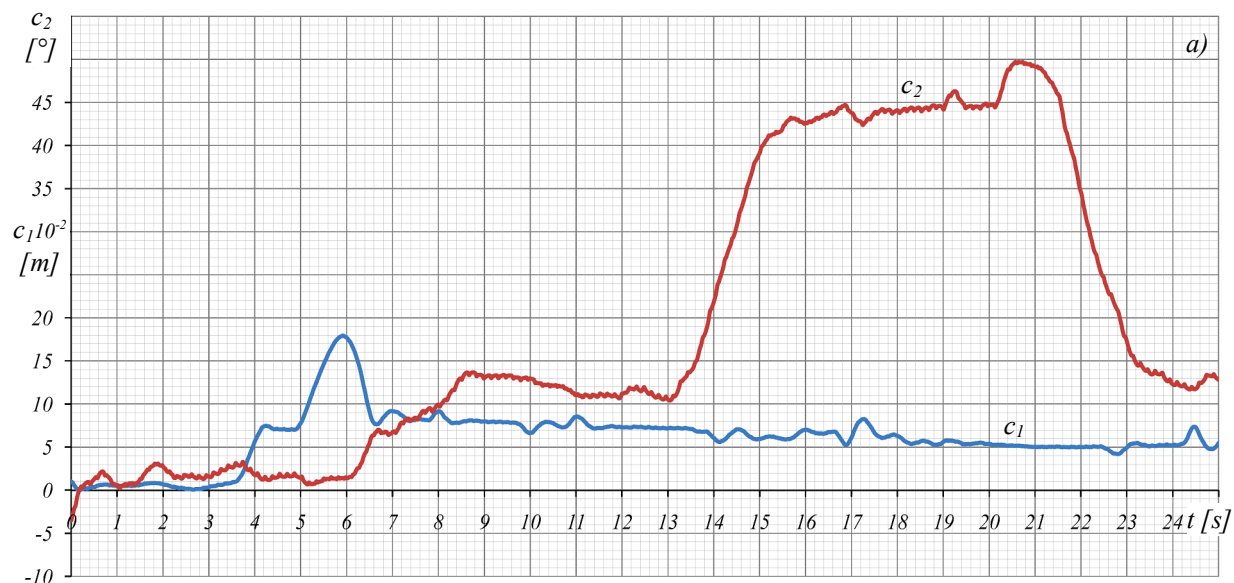
Сл. П2 Испитивање хидрауличког багера БГХ600 [72] :а) мерни ланац, б) мерна места и путање врха кашике током манипулационих задатака 5 и 30



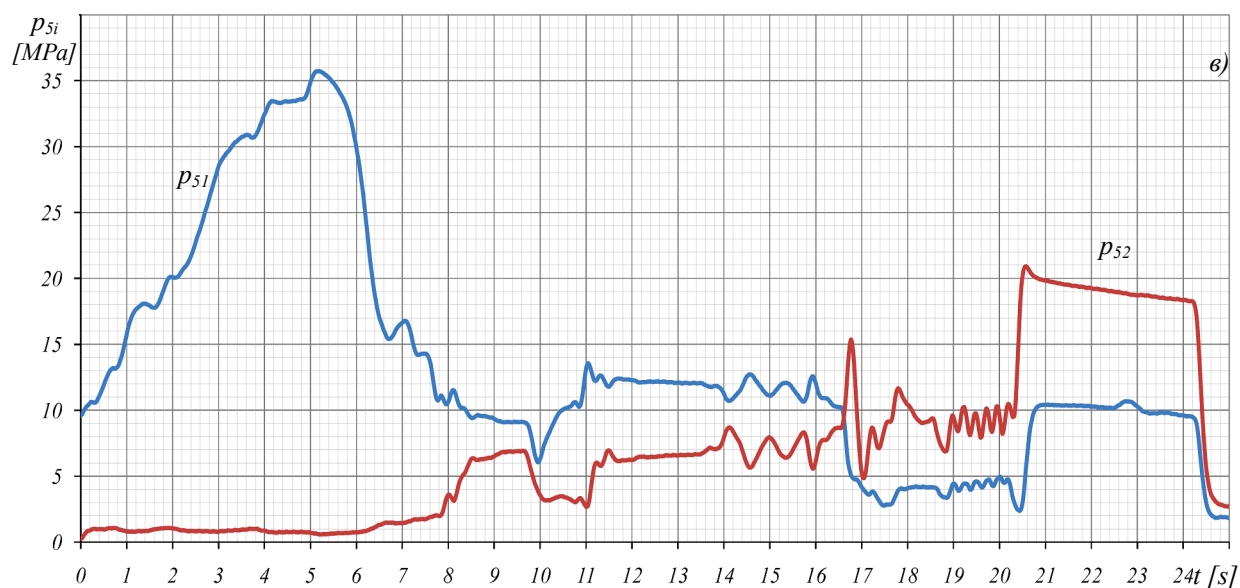
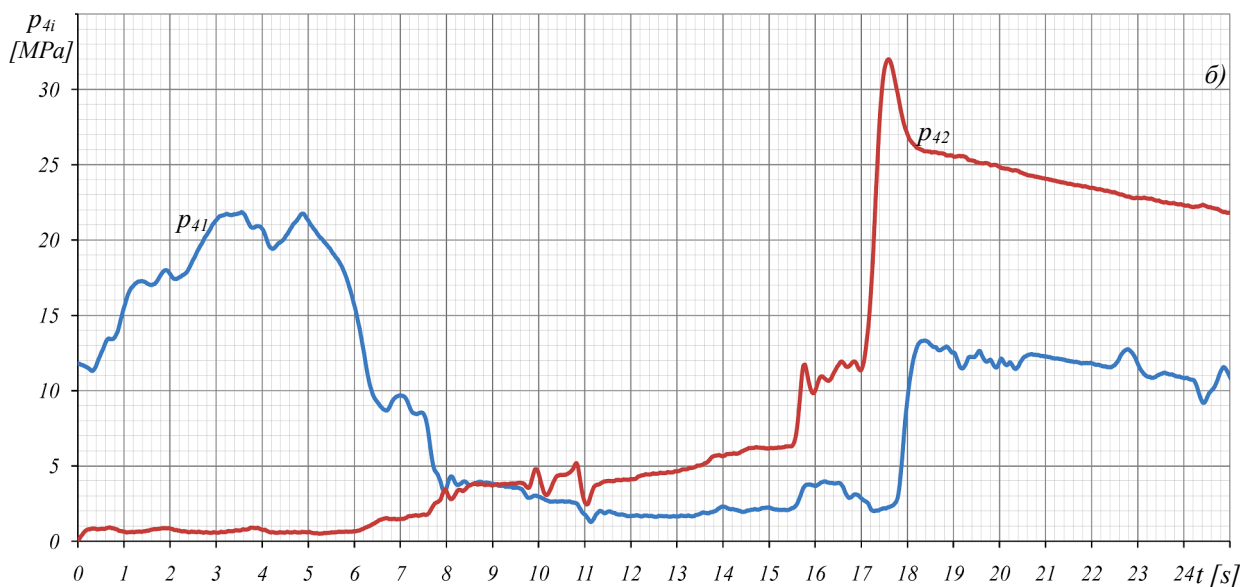
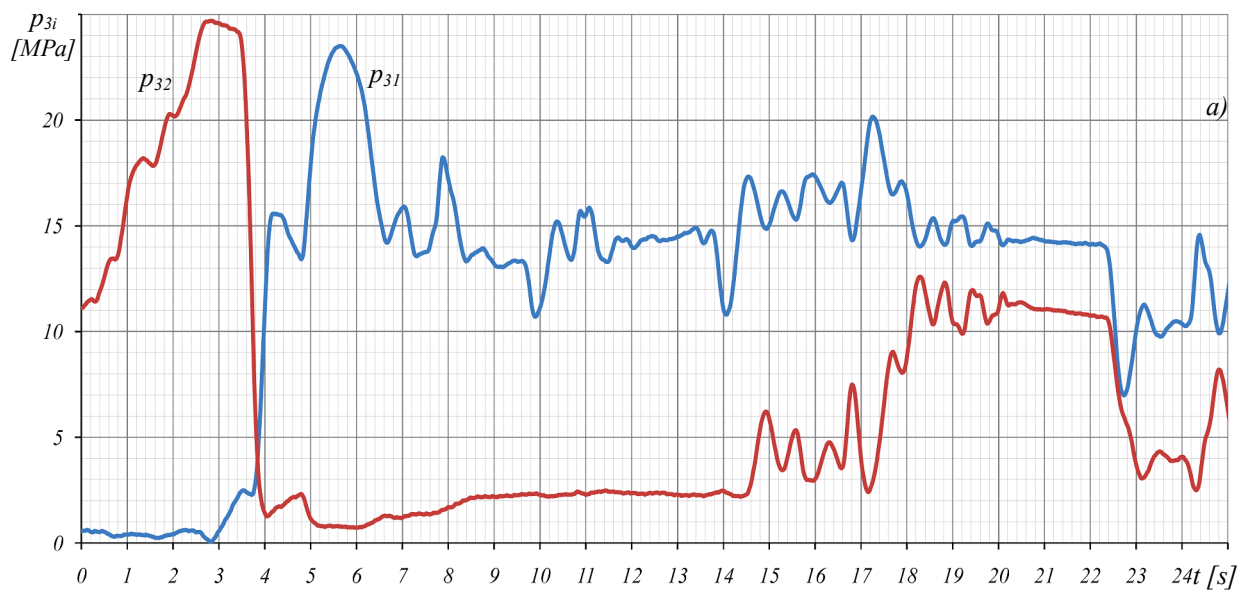
Сл. ПЗ Мерене величине током манипулационог задатка 5: а) померање кретног механизма c_1 и угао окретања платформе c_2 , б) дужине хидроцилиндара механизма стреле c_3 , руке c_4 , кашике c_5 , в) притисци p_{21} и p_{22} у водовима хидромотора погона окретања платформе



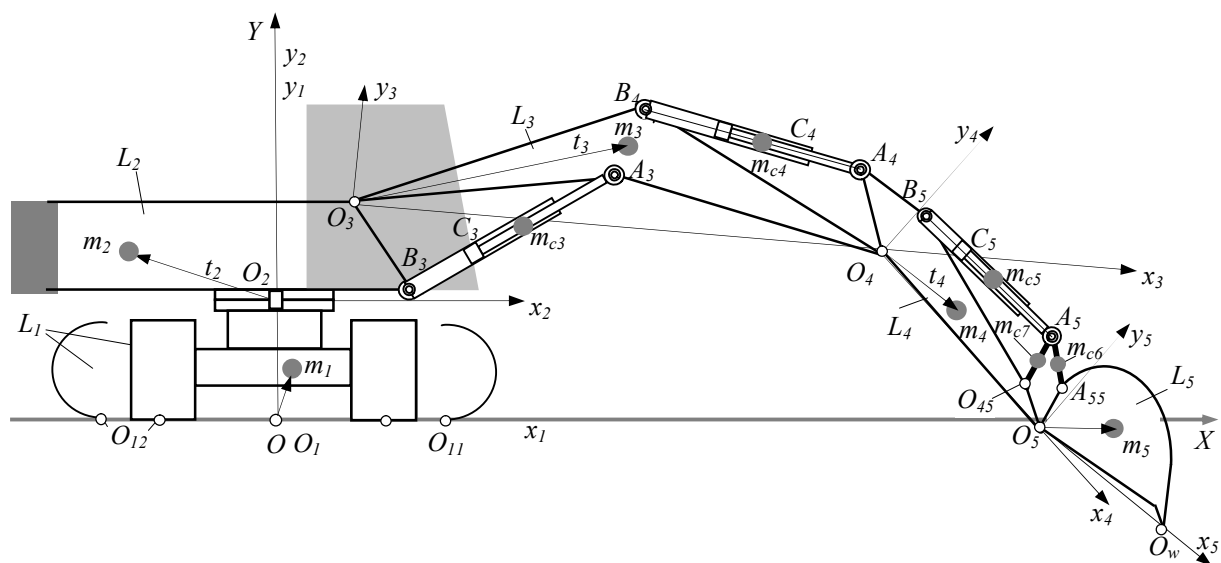
Сл.П.4 Мерење величине током манипулационог задатка 5: а) притисци у водовима хидроцилиндра стреле, б) притисци у водовима хидроцилиндра руке, в) притисци у водовима хидроцилиндра кашике



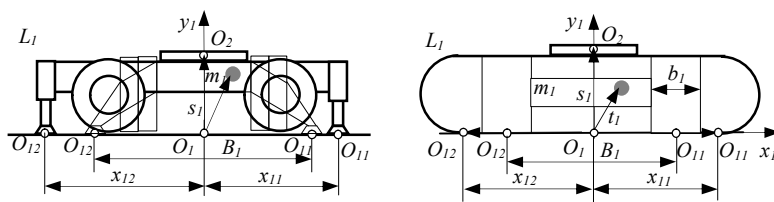
Сл. П.5 Мерење величине током манипуляционог задатка 30: а) померање кретног механизма c_1 и угао окретања платформе c_2 , б) дужине хидроцилиндара механизма стреле c_3 , руке c_4 , кашике c_5 , в) притисци p_{21} и p_{22} у водовима хидромотора погона окретања платформе



Сл. П 6 Мерење величине током манипулационог задатка 30: а) притисци у водовима хидроцилиндра стреле, б) притисци у водовима хидроцилиндра руке, в) притисци у водовима хидроцилиндра кашике

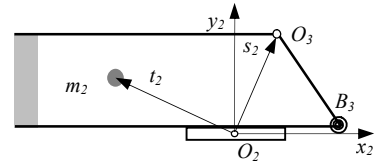


Сл. П7 Математички модел хидрауличког багера: *C* и *D* са гусеничним ослоно-кретним механизмом и дубинским манипулатором и *E* и *F* са гусеничним ослоно-кретним механизмом и кретним механизмом на пнеуматицима са дубинским манипулатором



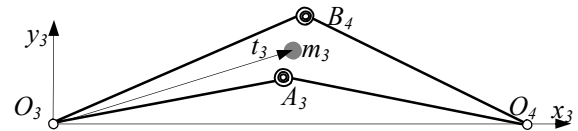
Табела П 14: Параметри ослоно-кретног члана L_1 (сл. П7)

				<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>		
<i>x</i>	O_2	x_{s2}	<i>m</i>	0,000	0,000	0,000	0,000		
<i>y</i>	O_2	y_{s2}	<i>m</i>	1,635	1,635	1,015	1,190		
<i>z</i>	O_2	z_{s2}	<i>m</i>	0,000	0,000	0,000	0,000		
/		B_1	<i>m</i>	3,600	3,600	2,310	3,695		
/		b_1	<i>m</i>	0,500	0,600	0,600	0,295		
		x_{11}	<i>m</i>	2,385	2,517	1,390	2,537		
		x_{12}	<i>m</i>	-2,385	-2,517	-1,390	-2,147		
<i>x</i>		x_{i1}	<i>m</i>	-0,130	-0,130	-0,040	-0,040		
<i>y</i>		y_{i1}	<i>m</i>	0,800	0,800	0,400	0,400		
<i>z</i>		z_{i1}	<i>m</i>	0,000	0,000	0,000	0,000		
		m_1	<i>kg</i>	31895,000	42895,000	7040,000	8440,000		
	<i>C E</i>	$J_{1xx} \quad J_{1xy} \quad J_{1xz}$	<i>kgm²</i>	97201,2	459,1	-44,2	8980,1	71,3	-29,7
		$J_{1yx} \quad J_{1yy} \quad J_{1yz}$		459,1	182828,6	17,8	71,3	1990,4	2,3
		$J_{1zx} \quad J_{1zy} \quad J_{1zz}$		-44,2	17,8	101765,2	-29,7	2,3	12075,9



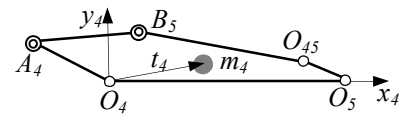
Табела П 15: Параметри обртне платформе L_2

				C	D	E	F		
x	O_3	x_{s3}	m	0,310	0,310	0,410	0,410		
y	O_3	y_{s3}	m	1,300	1,300	0,665	0,665		
z	O_3	z_{s3}	m	0,000	0,000	0,000	0,000		
x	C_3	x_{B3}	m	1,245	1,245	0,850	0,850		
y	C_3	y_{B3}	m	0,200	0,200	0,145	0,145		
x		x_{t1}	m	-2,850	-2,850	-1,360	-1,360		
y		y_{t1}	m	0,740	0,740	0,630	0,630		
z		z_{t1}	m	-0,030	-0,030	0,000	0,000		
	L_2	m_2	kg	34805,000	34805,000	6765,000	6765,000		
		J_{2xx} J_{2yy} J_{2xz}		40769,6	-1278,1	-6517,6	3178,5	88,7	-325,8
	C E	J_{2yx} J_{2yy} J_{2yz}	kgm ²	-1278,1	133370,8	-809,3	88,7	6560,2	-71,6
		J_{2zx} J_{2zy} J_{2zz}		-6517,6	-809,3	108283,2	-325,8	-71,6	4529,3



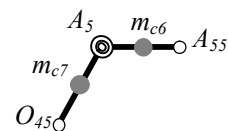
Табела П 16: Параметри стреле L_3

				C	D	E	F	
x	O_4	x_4	m	7,200	10,500	5,000	5,000	
y	O_4	y_4	m	0,000	0,000	0,000	0,000	
z	O_4	z_4	m	0,000	0,000	0,000	0,000	
x	C_3	x_{A3}	m	3,150	3,070	1,870	1,870	
y	C_3	y_{A3}	m	1,550	1,750	0,955	0,955	
x	C_4	x_{B4}	m	4,425	7,480	3,015	3,015	
y	C_4	y_{B4}	m	1,830	1,350	1,085	1,085	
x		x_{t3}	m	3,380	4,650	2,260	2,260	
y		y_{t3}	m	0,905	1,075	0,560	0,560	
z		z_{t3}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	
	L_3	m_3	kg	8500	9500,000	1270,000	1270,000	
		J_{3xx} J_{3yy} J_{3xz}				229,7	-251,6	-2,6
	E	J_{3yx} J_{3yy} J_{3yz}	kgm ²			-251,6	3181,7	0,5
		J_{3zx} J_{3zy} J_{3zz}				-2,5	0,5	3358,4



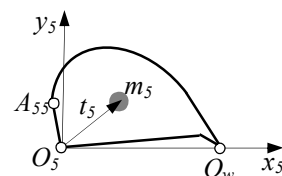
Табела П 17: Параметри руке L_4

				C	D	E	F	
x	O_5	x_5	m	2,900	5,800	1,800/3,000	1,800/3,000	
y	O_5	y_5	m	0,000	0,000	0,000	0,000	
z	O_5	z_5	m	0,000	0,000	0,000	0,000	
x	O_{45}	x_{45}	m	2,390	5,290	1,510	2,710	
y	O_{45}	y_{45}	m	0,070	0,070	0,030	0,030	
x	C_4	x_{A4}	m	-0,830	-0,830	-0,555	0,570	
y	C_4	y_{A4}	m	0,595	0,595	0,350	0,330	
x	C_4	x_{B5}	m	-0,490	2,410	-0,260	0,940	
y	C_4	y_{B5}	m	1,050	1,050	0,570	0,570	
x		x_{t4}	m	0,650	2,190	0,530	1,190	
y		y_{t4}	m	0,235	0,190	0,130	0,145	
z		z_{t4}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	
	L_4	m_4	kg	3500,000	4000,000	430,000	550,000	
		J_{4xx} J_{4yy} J_{4xz}				20,9	-37,3	0,0
	E	J_{4yx} J_{4yy} J_{4yz}	kgm ²			-37,3	429,7	0,0
		J_{4zx} J_{4zy} J_{4zz}				0,0	0,0	441,1



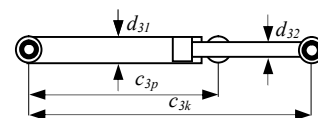
Табела П18: Параметри полуага

			C		D		E		F	
$O_{45}A_5$	c_7	m	0,850	0,850	0,510	0,510				
$O_{45}A_5$	m_{c7}	kg	150,000	150,000	40,000	40,000				
A_5A_{55}	c_6	m	0,810	0,810	0,475	0,475				
A_5A_{55}	m_{c6}	kg	100,000	100,000	60,000	60,000				



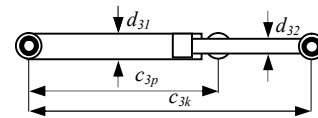
Табела П19: Параметри кашике L_5

			C		D		E		F	
	V	m^3	4,8	2,0	0,6	0,24				
	b_5	m	2150	1350	0,850	0,400				
x	O_w	x_w	m	2,300	2,300	1,300	1,300			
y	O_w	y_w	m	0,000	0,000	0,000	0,000			
z	O_w	z_w	m	0,000	0,000	0,000	0,000			
x	C_6	x_{A55}	m	0,025	-0,040	-0,060	-0,060			
y	C_6	y_{A55}	m	0,710	0,710	0,355	0,355			
x		x_{i6}	m	0,885	0,890	0,580	0,570			
y		y_{i6}	m	0,890	0,880	0,335	0,270			
z		z_{i6}	m	0,000	0,000	0,000	0,000			
L_6	m_6	kg	4200,000	2750,000	540,000	270,000				
Моменти инерције	E	$J_{6xx} J_{6yy} J_{6zz}$ $J_{6yx} J_{6xy} J_{6yz}$ $J_{6zx} J_{6zy} J_{6zz}$	kgm^2			84,3	-10,9	-0,2		
						-10,9	162,48	-0,12		
						-0,25	-0,12	135,8		



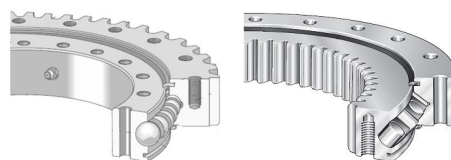
Табела П20: Параметри хидроцилиндара

			C, D		
			C_3	C_4	C_5
	d_{i1}	m	0,220	0,200	0,220
	d_{i2}	m	0,160	0,140	0,160
	c_{ip}	m	2,500	2,500	2,200
	c_{ik}	m	4,500	4,160	3,610
	m_{ci}	kg	1200	870	870
	n_{ci}	-	2	2	1



Табела П21: Параметри хидроцилиндара

			E, F		
			C_3	C_4	C_5
	d_{i1}	m	0,115	0,140	0,115
	d_{i2}	m	0,080	0,090	0,080
	c_{ip}	m	1,550	1,690	1,385
	c_{ik}	m	2,600	2,830	2,270
	m_{ci}	kg	205	280	190
	n_{ci}	-	2	1	1



Табела П22 Параметри изабраних могућих аксијалних лежајева [61]

	D_L [mm]	μ_t	z	m [mm]	m [kg]
AL0 162.40.2128.890.11.1503	2125	0,004	118	16	882
AL1 162.40.2240.890.11.1503	2237		125	16	932
AL2 162.40.2368.890.11.1503	2365		133	16	980
AL3 62.45.2366.890.11.1503	2363		117	18	1160
AL4 162.45.2510.890.11.1503	2507		125	18	1231
AL5 162.45.2654.890.11.1503	2651		133	18	1302
AL6 162.50.2660.891.41.1503	2657	119	20	1515	
AL7 062.20.0944.500.01.1503	944	0,006	107	8	76
AL8 062.25.0855.500.11.1503	855		73	10	133
AL9 062.25.0955.500.11.1503	955		83	10	150
AL10 062.25.1055.500.11.1503	1055		93	10	166

Табела П23 Фактори и коефицијенти еквивалентних оптерећења аксилних лежаја RotheErde [61]

	a	b	c	f_s	a_t	b_t
	1,225	2,676	1,225	1,25	4,4	3,81
	1	2,05	1	1,45	4,1	2,05



Табела П24 Хидропумпе погонског система хидрауличких багера[65]

M					
	q_p [cm ³]	p_{max} [MPa]	n_{max} [min ⁻¹]	J [kgm ²]	m [kg]
За отворена хидрауличка кола и моделе багера C, D, E и F са дубинским манипулатором					
A8VO 55	2 X 54,8	35	3000	0,0017	82
A20VO 60	2 X 60	35	2700	0,0110	88
A20VO 95	2 X 93,8	35	2780	0,0350	105
A8VO 80	2 X 80	35	2750	0,0220	90
A8VO 107	2 X 107	35	2450	0,0350	116
За затворена хидрауличка кола и моделе багера A и B са утоварним манипулатором					
A4VG 125	125	45	2850	0,0230	80
A4VG 180	180	45	2500	0,0440	101
A4VG 250	250	45	2400	0,0980	156
A4CS355	355	45	2200	0,1900	237



Табела П25 Хидромотори погонског механизма обртне платформе[65]

M					
	q_m [cm ³]	p_{max} [MPa]	n_{max} [min ⁻¹]	J [kgm ²]	m [kg]
За модел багера C D, E F са дубинским манипулятором					
A2FM 28	28,1	45	6900	0,0012	9,5
A2FM 32	32	45	6900	0,0012	9,5
A2FM 45	45,6	45	6200	0,0024	13,5
A2FM 56	56,1	45	5500	0,0042	18
A2FM 63	63	45	5500	0,0042	18
A2FM 80	80,4	45	5000	0,0072	23
A2FM 90	90	45	5000	0,0072	23
За модел багера A, B са утоварним манипулятором					
A2FM 107	106,7	45	4400	0,0116	32
A2FM 125	125	45	4400	0,0116	32
A2FM 180	180	45	4000	0,0220	45
A2FM 200	200	45	3000	0,0378	66



Табела П26 Расположиви преносници механизма обртне платформе[65]

	M_{r2max} [Nm]	i_{r2}	A2FM	m_p [kg]
За моделе багера C, D, E и F са дубинским манипулятором				
GFB 0024 T3 1000	10600	91,13•103,63•121,5•138,2	28•32•45•56•63	165
GFB 0026 T2 1000	10000	31,36•43,87•51,52•63	80•90	225
GFB 0026 T2 2000	10000	31,36•43,87•51,52•63	80•90	240
За моделе багера A и B са утоварним манипулятором				
GFB 0080 T3 1000	38200	62,28•111,86•186,43	80•90•107•125	540
GFB 0084 T2 2000	38200	35,13	180•200	515

БИОГРАФИЈА АУТОРА

(),
16. 1983. , 1990.
.
17.07.2008. ,
9,37.
, 2005. ,
,
Philip Morris International .
2009. 2011. ,
, 2011. 2015.
, . 35049.
2015. ,
.
: , , CAD
, ,
, .
, .

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног родитеља и име	Јовановић, Драган, Весна	МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ Примљено: 07.5.2018.	
Датум и место рођења	16.06.1983. Сурдулица		

Основне студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Транспортна техника и логистика
Звање	Дипломирани инжењер машинства - мастер
Година уписа	2002.
Година завршетка	2008.
Просечна оцена	9,37

Мастер студије, магистарске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Транспортна техника и логистика
Звање	Дипломирани инжењер машинства - мастер
Година уписа	2002.
Година завршетка	2008.
Просечна оцена	9,37
Научна област	Транспортна техника и логистика
Наслов завршног рада	Системи складиштења и комисионирања

Докторске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Транспортна техника
Година уписа	2008.
Остварен број ЕСПБ бодова	180
Просечна оцена	8,67

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера
Име и презиме ментора, звање	др Драгослав Јаношевић, редовни професор
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	8/20-01-008/15-021, 16.09.2015.

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	186
Број поглавља	6
Број слика (шема, графика)	92
Број табела	48
Број прилога	1

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p>V. Jovanović, D. Janošević, N. Petrović: <i>Analysis of axial bearing load of a rotating platform drive in hydraulic excavators</i>, Tehnički vjesnik/Technical Gazette 2014., 1330-3651, Univerzitet u Osijeku, Fakultet u Slavonskom Brodu, No.2, Vol.21., pp. 263-270.</p> <p>У раду је дат поступак избора аксијалног лежаја погона обртне платформе хидрауличких багера са утоварним манипулатором на основу спектра еквивалентних оптерећења лежаја. Према развијеном математичком моделу багера, спектар еквивалентних оптерећења лежаја је дефинисан на основу граничних отпора копања које дозвољава стабилност багера и граничних отпора копања које могу да савладају погонски механизми багера. На основу математичког модела багера развијен је софтвер који омогућује одређивање и детаљну анализу оптерећења аксијалног лежаја у целом радном подручју. Као пример дати су спектри еквивалентних оптерећења лежаја погона обртне платформе хидрауличког багера, укупне масе око 100000 kg и снаге 400 kW, добијени коришћењем развијеног софтвера. Поређењем добијених спектра еквивалентних оптерећења лежаја са дијаграмима дозвољене носивости расположивих лежајева, изабрана је одговарајућа величина лежаја погона обртне платформе анализираниог багера.</p>	M23
2	<p>V. Jovanović, D. Janošević, D. Marinković: <i>Selection procedure for an axial bearing of a slewing platform drive in hydraulic excavators</i>, Acta Polytechnica Hungarica, 2015., Journal of Applied Sciences Hungary, No.1 Vol.12, pp.5-22.</p> <p>У раду су дати математички модели за анализу оптерећења аксијалног лежаја погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера са манипулатором дубинске и манипулатором утоварне кашике. Резултати анализе показују еквивалентне силе и еквивалентне моменте у облику спектра оптерећења аксијалног лежаја у целом радном подручју багера. Као пример, дати су упоредни спектри оптерећења аксијалног лежаја погона обртне платформе хидрауличког багера масе 100000 kg опремљеног са утоварним и дубинским манипулатором, добијени коришћењем софтвера развијеног на основу дефинисаних математичких моделима.</p>	M23
3	<p>D. Janošević, V. Jovanović, N. Petrović: <i>Spectrums of axial bearing load of a rotating platform drive in hydraulic excavators</i>, International journal of science and technology, ScientiaIranica, 2015, Sharif University of Technology, Tehran, I.R. Iran, , Vol.22, No.3. pp. 825-834.</p> <p>У раду је дат математички модел за одређивање спектра еквивалентних оптерећења аксијалног лежаја погона обртне платформе хидрауличких багера са дубинским манипулатором. Спектар еквивалентних оптерећења лежаја се дефинише на основу могућих отпора копања који представљају минималну вредност из скупа граничних отпора копања који омогућавају стабилност багера и граничних отпора копање који дозвољавају погонски механизми багера. С обзиром да исти модел багера може имати различите варијанте кинематичког ланца који могу да имају велики број различитих положаја и услова рада, на основу општег математички модела, развијен је софтвер за детаљну анализу оптерећења аксијалног лежаја погона обртне платформе за жељени број положаја у читавом радном опсегу багера за сваку могућу варијанту кинематичког ланца.</p>	M23
4	<p>V. Jovanović, D. Janošević, N. Petrović: <i>Experimental determination of bearing loads in rotating platform drive mechanisms of hydraulic excavators</i>, Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering Vol. 12, No 2, 2014, pp. 157 - 169.</p> <p>У раду је дат поступак за експериментално одређивање оптерећења аксијалног лежаја погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера са дубинским манипулатором. Дефинисан је математички модел који омогућује да се, на основу мерених величина стања багера при раду у експлоатационим условима, посреде, одреде вектори силе и момента оптерећења лежаја. При чему се мерене величине стања багера односе на положај кинематичког ланца и притиске хидростатичког система у водовима актуатора погонских механизма багера. Као пример, дати су резултати истраживања добијени при експерименталном одређивању оптерећења аксијалног лежаја погона окретања обртне платформе хидрауличког багера масе 17000 kg.</p>	M51
5	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović: <i>Experimental analysis of manipulator joints loading in hydraulic excavators</i>, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XIII, 2015 -Fascicule 1, pp.233-240.</p> <p>У раду је дат поступак за експериментално одређивање оптерећења елемената кинематичких парова (зглобова) кинематичког ланца и погонских механизма дубинског манипулатора хидрауличких багера гусеничара. Дефинисан је математички модел који омогућује да се, на основу мерених величина стања багера при раду у експлоатационим условима, одреде вектори сила и момената оптерећења зглобова. Обављена истраживања, чији је део приказан у овом раду, представљају прилог анализи дефинисања карактера промене оптерећења кинематичких парова кинематичког ланца дубинског манипулатора хидрауличких багера. Важност познавања вектора оптерећења зглобова чини основ неопходних структурних анализа у циљу оптимизације, поузданости и века трајања структурне грађе чланова кинематичког ланца манипулатора и погонских механизма багера.</p>	M51

6	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović: <i>Experimental determination of resistance digging of hydraulic excavator</i>, ИМК-14 Истраживање и развој 2013., ISBN0354-6829, Institut IMK "14. oktobar", Kruševac, No.3, Vol.19, pp. 83-88.</p> <p>У раду је дат поступак за експериментално одређивање отпора копања хидрауличких багера са дубинским манипулатором. Дефинисан је математички модел који омогућује да се, на основу мерених величина стања багера при раду у експлоатационим условима, посредно, одреди вектор отпора копања на резној ивици кашике. При чему се мерене величине стања багера односе на положај кинематичког ланца и притиске хидростатичког система у водовима актуатора погонских механизма багера. Као пример, дати су резултати истраживања добијени при експерименталном одређивању отпора копања хидрауличког багера масе 17000 kg.</p>	M52
7	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović: <i>Experimental analysis of energy parameters drive mechanisms, hydraulic excavator</i>, The sixth International Conference Transport and Logistics - til 2017, 25-26. may, ISBN 978-86-6055-088-2, pp. 77-81</p> <p>У овом раду развијен је општи математички модел и програм за анализу енергетских параметара погонских механизма хидрауличних багера са дубинским манипулатором, на основу мерених величина стања рада багера у реалним-експлоатационим условима.</p>	M33
8	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović, G. Petrović: <i>Digging resistance model shovel manipulator of hydraulic excavator</i>, IX Triennial International Conference Heavy Machinery - HM 2017 HM 2017 June 28- July 1 2017, Zlatibor, Serbia, pp: 101-104</p> <p>У раду је дефинисан математички модел отпора копања хидрауличких багера са утоварним манипулатором. Математичким моделом отпора копања обухваћени су: параметри кретања кашике при операцији копања, геометрија одреска материјала, геометрија кашике и карактеристике захваћеног материјала. Развијени математички модел отпора копања може се користити при нумеричкој динамичкој симулацији рада багера. Као пример, одређене су компоненте отпора копања за утоварне кашике запремина 4,4 И 6,5m³ за модел хидрауличког багера гусеничара масе око 100000 kg.</p>	M33
9	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović: <i>Experimental Analysis of the Parameters of the Slewing Platform Drive Mechanism of Hydraulic Excavators</i>, ИМК-14 Reasearch and Developement in Heavy Machinery, Vol. 22(2), pp. 31-36, 2016. pp.31-36.</p> <p>У овом раду представљен је метод за експериментално одређивање параметара погонског механизма обртне платформе хидрауличних багера са дубинским манипулатором. Дефинисан је математички модел којим се одређују кинематички и динамички параметри погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера, на основу мерених величина стања рада багера у експлоатационим условима. Добијени експериментални резултати показију да су највећа оптерећења аксијалног лежаја погона окретања платформе при операцији копања. Осим тога изразите динамичке промене параметара хидростатичког система погонског механизма обртне платформе јављају се при операцији преноса материјала.</p>	M33
10	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović, P. Milić: <i>Dynamic simulation of hydraulic excavators with shovel manipulator</i>, Mechanical Engineering in XXI Century, 3rd International Conference, Niš, ISBN 978-86-6055-072-1, Mašinski fakultet Niš, 17.9.-18.9.2015., pp. 421-426.</p> <p>Рад садржи општи динамички математички модел кинематичког ланца и моделе функција хидрауличког багера са утоварним манипулатором. На основу дефинисаних модела развијен је програм за динамичку нумеричку симулацију рада багера помоћу рачунара. Симулацијом су одређени кинематички и динамички параметри (линеарне и угаоне брзине и убрзања, инерцијалне силе и моменти) кинематичког ланца и погонских механизма багера. Као пример, дати су резултати нумеричке динамичке симулације хидрауличког багера гусеничара масе 100000 kg са манипулатором утоварне кашике запремине 4,4 m³</p>	M33
11	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović, N. Petrović: <i>Definition of directed digging force for assessment of the hydraulic excavator work</i>, The 8th International Symposium - KOD 2014 - Machine and industrial design in mechanical engineering, ISBN 978-86-7892-615-0, Faculty of Tehnical Sciences, University of Novi Sad, Slovak University of Technology in Bratislava International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science – IFToMM Association for Design, Elements and Constructions – ADEKO, 12.06.-15.06.2014., pp. 51-54.</p> <p>У раду је дефинисан математички модел за одређивање ходографа сила копања хидрауличких багера са утоварним манипулатором. Ходограф сила копања, као показатељ ефикасности копања багера, одређен је на основу граничних сила копања које дозвољава стабилност багера и граничних сила копања које омогућују погонски механизми багера. Ходографи сила копања дефинисани у овом раду представљају прилог развоју показатеља ефикасности копања багера у целом радном подручју.</p>	M33
12	<p>V. Jovanović, D. Janošević, Jovan Pavlović: <i>The kinematic and dynamic analysis of the hydraulic excavators</i>, VIII International Conference "Heavy Machinery-HM 2014", Zlatibor, ISBN 978-86-82631-74-3, Faculty of Mechanical and Civil Engineering, Kraljevo, 25-28 June, 2014, pp.A187-192.</p> <p>У раду је приказан општи математички модел за кинематичку и динамичку анализу хидрауличког багера са манипулатором дубинске кашике. Математички модел багера је заснован на <i>Newton-Euler</i>-овим динамичким једначинама. Поред тога дат је алгоритам развијеног софтвера на основу дефинисаног математичког модела који омогућује кинематичку и динамичку анализу багера на основу експериментално</p>	M33

	измерених величина багера при раду у експлоатационим условима. Измерене величине стања односе се на положај кинематичког ланца и параметре погонског система багера. Упоредна анализа резултата показује да је између статичких и динамичких величина стања багера мала разлика при операцији копања, због релативно спорог кретања чланова кинематичког ланца багера.	
13	<p>V. Jovanović, D. Janošević, J. Pavlović, N. Petrović: <i>Control of slewing platform drive of mobile machines</i>, XII International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements Niš, ISBN 978-86-6125-117-7, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, Serbia, November 12-14.2014., O/3/1-4.</p> <p>У раду су ализиране концепције хидростатичких погона окретања обрних платформи мобилних машина и система регулација њиховог управљања. Као концепције погона разматрани су погони са отвореним и затвореним хидростатичким колом, са хидропумама и хидромоторима константног и променљивог специфичног протока. У делу управљања погоном обртних платформи, анализирани су хидростатички системи са регулационим вентилима који омогућавају мирно (постепено) покретање платформе, без удара, на тај начин што се могу остварити повољне карактеристике промене притиска и протока хидромотора погона платформе зависно од командног притиска система управљања машине.</p>	МЗЗ

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.	ДА
--	----

Весна Јовановић је положила све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија на студијском програму Машинско инжењерство Машинског факултета Универзитета у Нишу и стекла право на израду докторске дисертације.

Весна Јовановић је 13.03.2015. године, Одсеку за наставна и студентска питања Машинског факултета у Нишу, поднела захтев (број 612-200/15) за одобрење теме докторске дисертације под називом „Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера”.

На предлог Наставно-научног већа Машинског факултета у Нишу, Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу донело је Одлуку (број 8/20-01-005/15-030 од 27.05.2015. године) о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: др Миомир Јовановић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Драгослав Јаношевић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Ненад Д. Павловић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Миломир Гашић, редовни професор Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу и др Горан Петровић, доцент Машинског факултета у Нишу.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је, на седници одржаној 28.08.2015. године, на основу Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације Одлуком број 612-508-7/2015 усвојило тему докторске дисертације и предложило др Драгослава Јаношевића, редовног професора Машинског факултета у Нишу, за ментора.

Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу је, на седници одржаној 16.09.2015. године, Одлуком број 8/20-01-008/15-021 дало сагласност на Одлуку о усвајању теме докторске дисертације и Одлуком број 2/20-01-008/15-022 од 16.09.2015. године именovalo др Драгослава Јаношевића, редовног професора Машинског факултета у Нишу, за ментора за израду докторске дисертације.

Весна Јовановић је 16.03.2018. године поднела захтев, Одсеку за наставна и студентска питања Машинског факултета у Нишу, за одређивање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације. На предлог Наставно-научног већа Машинског факултета у Нишу, Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу донело је Одлуку број 8/20-01-004/18-011 о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, под називом „Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера”, у следећем саставу: др Миомир Јовановић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Драгослав Јаношевић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Ненад Д. Павловић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Миломир Гашић, редовни професор Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу и др Горан Петровић, доцент Машинског факултета у Нишу.

Весна Јовановић је првопотписани аутор два рада објављена у часописима са SCI листе из области докторске дисертације, као и првопотписани аутор једног рада објављеног у часопису који издаје Универзитет у Нишу из области докторске дисертације.

На основу претходно наведеног, Весна Јовановић испуњава све услове за оцену и одбрану докторске дисертације предвиђене Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Нишу и Статутом Машинског факултета у Нишу.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Садржај дисертације чине шест поглавља:

1. Увод, 2. Погонски механизми обртне платформе хидрауличких багера, 3. Анализа погонског механизма обртне платформе багера, 4. Избор аксијалног лежаја обртне платформе багера, 5. Синтеза погона механизма обртне платформе багера, 6. Закључак.

Наведеним поглављима дисертације претходе: резиме, на српском и енглеском језику, и садржај. На крају дисертације се налазе: списак коришћене литературе (104 цитиране библиографске јединице), прилог и биографија аутора.

У првом поглављу дефинисан је предмет истраживања - погонски механизам обртне платформе хидрауличких багера. Наведени су разлози, значај и циљеви истраживања. Дата је детаљна анализа најзначајнијих резултата досадашњих истраживања која се односе на механизам погона обртне платформе хидрауличких багера.

У другом поглављу је, на основу морфолошке анализе, усвојен општи модел погонског механизма обртне платформе багера који чине: хидростатички (трансформациони) део, са хидропумпом и хидромотором, и механички (преносни) део са планетарним редуктором и аксијалним лежајем. Коришћењем основа науке о конструисању, дефинисан је поступак синтезе усвојеног општег модела погонског механизма обртне платформе са следећим етапама развоја: а) анализа параметара функција механизма обртне платформе; б) избор величине аксијалног лежаја на основу спектра оптерећења и в) одређивање трансформационих и преносних параметара хидростатичких и механичких компонената погона.

У трећем поглављу су приказани општи динамички математички модели багера са дубинским и утоварним манипулатором и развијени софтвери за анализу параметара функција погона обртне платформе. Анализом су обухваћени следећи параметри функција: угао, угаона брзина, угаоно убрзање, момент и снага окретања платформе.

Детаљна анализа параметара функција механизма погона платформе је обављена: нумеричком симулацијом багера и на основу мерених величина стања физичког модела багера при раду у различитим експлоатационим условима. Добијеним резултатима анализе се показује при којој варијанти конфигурације кинематичког ланца багера, као и при којој операцији манипулационог задатка и у којој области радног подручја багера се јављају параметри функција меродавни за синтезу механизма обртне платформе.

У четвртм поглављу су приказани математички модели багера са дубинским и утоварним манипулатором и развијени софтвери за одређивање спектра оптерећења аксијалног лежаја механизма погона обртне платформе. Спектар оптерећења је дефинисан као свеобухватни показатељ оптерећења лежаја на основу могућих оптерећења која се јављају у целом радном простору багера. Назначено је да се на основу спектра оптерећења, одређених за могуће варијанте конфигурација кинематичких ланца багера, у поређењу са дозвољеним карактеристикама носивости расположивих лежајева, врши избор величине аксијалног лежаја механизма обртне платформе багера.

У петом поглављу је приказан општи математички модел и развијени софтвер за генерисање могућих варијантних решења хидростатичког и механичког дела погонског механизма обртне платформе, коришћењем скупа (датотека) расположивих величина компонената погона. За оцену генерисаних могућих варијантних решења погона платформе, коришћењем развијених динамичких математичких модела багера, извршена су истраживања утицаја односа величина трансформационих и преносних параметара компонената погона на енергетску ефикасност и динамичко оптерећење погона и динамичку стабилност багера.

У последњем поглављу дати су закључци као и потенцијалне области будућих истраживања.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

У оквиру своје докторске дисертације Весна Јовановић је потпуно остварила циљеве научног истраживања постављене у пријави докторске дисертације. Развој опште методологије за синтезу погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера, свих величина, као основни постављени циљ истраживања дисертације садржан је у потпуно оствареним следећим парцијалним циљевима:

- Развој поступка синтезе погонског механизма обртне платформе на основу науке о конструисању и морфолошке анализе.
- Дефинисање општих динамичких математичких модела хидрауличких багера са дубинским и утоварним манипулатором за анализу параметара функција погонског механизма обртне платформе поступком нумеричке симулације, задавањем манипулационог задатка багера, и на основу експериментално измерених величина погонског система багера, масе 16000 kg, при раду у експлоатационим условима са дубинским манипулатором.
- Дефинисање математичких модела за одређивање спектра оптерећења аксијалног лежаја погона обртне платформе на основу меродавних оптерећења одређених у целом радном подручју багера за све могуће варијанте кинематичког ланца багера.
- Дефинисање математичког модела за генерисање могућих варијантних решења хидростатичког и механичког дела погонског механизма обртне платформе на основу задатих параметара функција погона.
- Развој математичких модела багера за оцену утицаја односа трансформационих и преносних параметара компонената погонског механизма обртне платформе на енергетску ефикасност и динамичко оптерећење погона платформе и динамичку стабилност багера.
- Развој софтвера за: анализу параметара функција погона обртне платформе багера, одређивање спектра оптерећења аксијалног лежаја и генерисање могућих варијантних решења хидростатичког и механичког дела погонског механизма обртне платформе.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Општа методологија за синтезу погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера, развијена у оквиру докторске дисертације, је врло значајна с обзиром на савремени модуларни развој хидрауличких багера и комплексну функцију погона платформе у склопу различитих конфигурација кинематичких ланаца и различитих манипулационих задатака багера у просторном радном пољу са мноштвом различитих положаја и услова рада.

Основни научни доприноси докторске дисертације су:

- Развијена оригинална методологија за синтезу погонског механизма обртне платформе багера, заснована на науци о конструисању и поступку модуларног пројектовања, помоћу које се компоненте погона дефинишу на основу параметара функција погона и функционалних ограничења расположивих компонената погона.
- Морфолошка матрица за избор концепције механизма погона окретања платформе хидрауличких багера, формирана на основу функционалне, структурне и параметарске анализе хидрауличких багера водећих светских произвођача.
- Општи динамички математички модели багера са утоварним и дубинским манипулатором за анализу параметара функција погона обртне платформе нумеричком симулацијом багера и на основу експериментално измерених величина погонског система багера гусеничара, масе 16000 kg, при раду у експлоатационим условима.
- Резултати анализе параметара функција погона обртне платформе који показују при којој варијанти конфигурације кинематичког ланца багера, као и при којој операцији манипулационог задатка и у којој области радног простора багера се јављају вредности параметара меродавне за синтезу механизма обртне платформе.
- Спектри оптерећења за избор величине аксијалног лежаја погонског механизма обртне платформе багера одређени, за могуће варијанте ослоно-кретних механизма и конфигурација кинематичких ланаца дубинског и утоварног манипулатора багера, на основу оптерећења која се јављају у целом радном простору багера.
- Резултати анализе утицаја промене конфигурације кинематичког ланца, положаја и услова рада багера на спектре оптерећења аксијалног лежаја погона платформе.
- Општи математички модел за генерисање могућих варијантних решења хидростатичког и механичког дела погонског механизма обртне платформе, коришћењем скупа (датотека) расположивих величина компонената погона.
- Резултати анализе утицаја односа величина трансформационих и преносних параметара погонског механизма платформе и еластичности хидростатичких актуатора (хидромотора и хидроцилиндара) погонских механизма багера - која настаје услед стишљивости хидрауличног уља у радним запреминама и водовима актуатора - на енергетску ефикасност и динамичко оптерећење механизма платформе и на динамичку стабилност багера.
- Развијени оригинални софтвери за: анализу параметара функција погона обртне платформе багера, одређивање спектра оптерећења аксијалног лежаја и генерисање могућих варијантних решења хидростатичког и механичког дела погонског механизма обртне платформе.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Кандидат Весна Јовановић је показала изразиту систематичност и аналитичност при свеобухватној анализи постојеће научне и стручне литературе и досадашњих резултата истраживања из области теме докторске дисертације. При изради докторске дисертације, током развоја математичких модела, софтвера и спроведених теоријских и експерименталних истраживања, показала је висок ниво мултидисциплинарног знања, оригиналности, самосталности и упорности. Кандидат има изразиту способност за анализу и уочавање битних показатеља добијених резултата истраживања и смисао и креативност за њихово јасно формулисање, изражавање и презентацију.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

На основу прегледа рукописа докторске дисертације и увидом у публиковане научне радове кандидата, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације закључују:

- Садржај докторске дисертације у потпуности одговара теми коју су одобрили Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу и Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу.
- Докторска дисертација представља оригиналан и вредан научни допринос истраживању и развоју не само хидрауличких багера већ других мобилних машина са просторном манипулацијом.

Имајући у виду све наведено, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Нишу и Научно-стручном већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу да се поднесу рукопис кандидата **Весне Јовановић**, дипломираног инжењера машинства, под називом:

"Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера"

прихвати као докторска дисертација и да се кандидат позове на усмену јавну одбрану.

КОМИСИЈА

Број одлуке НСВ о именовању Комисије

Датум именовања Комисије

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
1.	др Миомир Јовановић, редовни професор	председник	
	Транспортна техника и логистика (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен)	
2.	др Драгослав Јаносевић, редовни професор	ментор, члан	
	Транспортна техника и логистика (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен)	
3.	др Ненад Д. Павловић, редовни професор	члан	
	Мехатроника (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен)	
4.	др Миломир Гашић, редовни професор	члан	
	Механизација и носеће конструкције (Научна област)	Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву (Установа у којој је запослен)	
5.	др Горан Петровић, доцент	члан	
	Транспортна техника и логистика (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

Мај, 2018. године,

У Нишу и Краљеву

Изјава 1.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом:

„Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера“

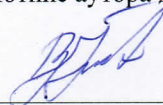
која је одбрањена на Машинском факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивала на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредила ауторска права, нити злоупотребила интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 20.08.2018.

Потпис аутора дисертације:



Јовановић Весна

Изјава 2.

**ИЗЈАВА О ИСЛОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ ОБЛИКА ДОКТОРСKE
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Наслов дисертације:

„Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера“

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предала за уношење у
Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, истоветан штампаном облику.

У Нишу, 20.08.2018.

Потпис аутора дисертације:



Јовановић Весна

Изјава 3:

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

„Прилог синтези погонског механизма обртне платформе хидрауличких багера“

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)⁴

У Нишу, 20.08.2018.

Потпис аутора дисертације:



⁴ Аутор дисертације обавезан је да изабере и означи (заокружи) само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у наставку текста.