

## ГАЛЕРИЕН КРЕПЕЖЕН МАНИПУЛАТОР – ДИНАМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Ц. Дамянов

Е. Асенов

З. Михалков

П. Недялков

МГУ “Св. Иван Рилски”

ТУ – София

МГУ “Св. Иван Рилски”

МГУ “Св. Иван Рилски”

### Резюме:

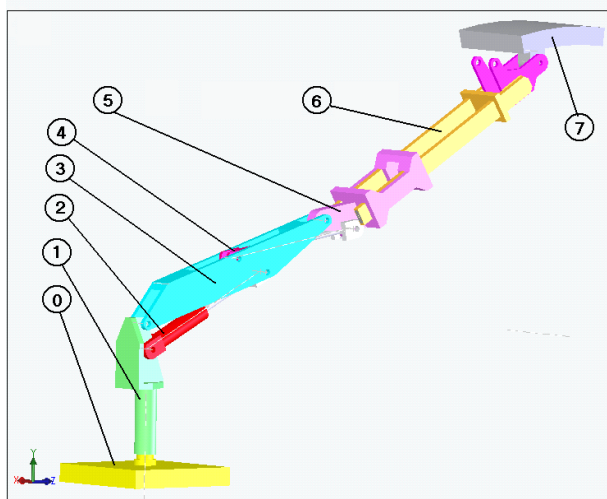
Научното изследване отразява резултатите от имитационното виртуално изследване на мощен антропоморфен минен манипулатор за изграждане на галериен бетонен крепеж. Изследването е проведено върху тримерен компютърен графичен модел при гранични условия, които отразяват статичното и динамично натоварване.

Резултатите са визуализирани в графичен вид като функция на скоростите и ускоренията и на тази база са определени динамичните сили, които могат да се използват за яқсна проверка на най-натоварените елементи от механичната конструкция на машината.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Изграждането на постоянен крепеж на галерийните изработки в мините и тунелното строителство е значима част от цялостния технологичен процес. Като определящи в този случай могат да бъдат изведени факторите – високо ниво на техническа безопасност при закрепване и експлоатация на изработките и по – добри технико – икономически показатели. Предмет на изследване в случая е машина от манипулаторен тип, която е създадена от авторски колектив в СО “Минстрой” и отговаря в много голяма степен на изискванията, съдържащи се в посочените по – горе определящи фактори. Структурно – функционалната схема на този крепежен манипулатор има същата кинематика като манипулатора на фирмата “Maschinen-fabrik – Moeminghoff” – ФРГ, а именно:

- вертикална въртяща се колона;
- двураменна телескопична стрела;
- специализирано захващащо устройство с локална структура с две степени на свобода;
- възможност за работа в технологичен процес на закрепване на галерии с кръгло сечение ( $\varnothing$  4,0 4,5м.) с тежки и бетонни елементи (500 – 1000 kg.).



фигура 1 Общ вид на манипулатора

Общият вид на манипулатора е показан на фиг. 1, където с позиции 1 – 7 са посочени следните елементи:

- 0 – стойка (неподвижно звено);
- 1 – колона с една вертикална ротационна (R) връзка със стойката;
- 2 – задвижващ хидравличен цилиндър на стрелата;
- 3 – стрела с хоризонтална (R) връзка с колоната;
- 4 – задвижващ хидравличен цилиндър на рамото
- 5 – рамо – също с (R) връзка със стрелата;
- 6 – телескопична ръка – с транслационна (T) връзка с рамото;
- 7 - обект на въздействие ( крепежен сегмент)

Техническите характеристики на манипулатора са дадени в Таблица 1.

№	параметър	дименсия	стойност
1	Товароподевност-минимална	kN	10
2	Ход на телескопа – $S_3$	mm	1100
3	Ъгъл на въртене на верт.	deg	210°

	колона		
5	Ъгъл между носача и стрелата – $\beta$ минимален максимален	deg	40° 185°
6	Ъгъл на завъртане на панела перпендикулярно но оста на стрелата - $\alpha_z$	deg	45°
7	Ъгъл на въртене на панела около оста на стрелата - $\alpha_x$	deg	360°
8	Максимален въртящ момент на захващания механизъм	Nm	1200
9	Разстояние от оста на въртене на манипулатора до оста на захващачното устройство	mm	3560 - 4660
10	Работно налягане	MPa	20
11	Широчина на обработвания панел	mm	800
12	Маса на манипулатора	kg	1000

Характерна особеност на описаната машина, е че тя е конструирана и изработена за съвместна работа с товарачна машина 2ПНБ – 2 и по – точно за монтаж върху рамата на същата. По този начин е създадена машина с повишена експлоатационна ефективност.

Необходимостта от изследване на динамичното натоварване на манипулаторния механизъм се определя от значителната маса (1000 кг.) на крепежните сегменти (стоманобетонни панели), която съвместно със собствената маса на подвижните звена, поражда значителни динамични сили в неустановените работни режими. От друга страна управляващото въздействие върху хидравличната система на задвижване се формира от оператора на машината в реално време, т.е. чрез биотехническа система на управление и следователно законът на движение на обекта (крепежният панел) е непостоянен за раличните работни цикли.

Тези особености на машината, която е от категорията на тежките манипулатори дават основание да се отбележат следните предпоставки и цели на процеса на изследване:

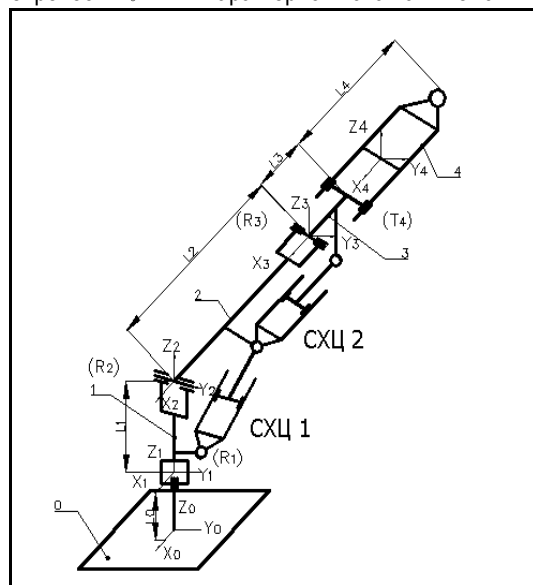
1. Ще се осъществи моделно компютърно изследване на някои основни параметри (скорости, ускорения) за характерни точки от най – натоварените елементи (звена и кинематични връзки);
2. Дефиниране на граничните условия в съответствие с кинематичната схема, системата на задвижване, метриката на манипулатора и обекта (крепежният панел), както и на особеностите на технологичния процес;
3. Създаване на група на 3D–модел на манипулатора в среда на Solid Works и коректно валидиране на всички кинематични връзки между подвижните звена;
4. Дефиниране на студия в среда на Dynamic Designer и параметриране на динамичния модел;

5. Структуриране на изчислителния модул и решаване на динамичната задача в съответствие с приетата методика за изследване.

### ГЕОМЕТРИЧЕН МОДЕЛ

На фиг.2 е показана кинематичната схема на геометричния модел, чрез който може математично да се определят положението и скоростите на звената и връзките спрямо базовото звено на манипулатора. Позициите от 1 до 4 показват следните елементи:

- 0 – стойка-базово неподвижно звено;  
 1- колона с (R) връзка към стойката 0 и вертикална ос на относителна ротация  $\phi_1$  по ос Z;  
 2- рамо с (R) връзка към колоната (1) и относителна ротация по  $\phi_2$  по X спрямо колоната (1);  
 3 - предрамо с (R) връзка към рамото (2) и относителна ротация  $\phi_3$  по X спрямо рамото (2);  
 4- телескоп с (T) връзка към предрамото (3) и относителна трансляция  $T_4$  по Y спрямо предрамото (3) .  
 Тази кинематична схема е отворен тип и равнинна при работа с блокирана кинематична връзка между стойката и колоната, а базовата маневреност  $m_0 = 0$  при обща маневреност  $m_0 = -2$  . Характеристиката на кинематич-



фиг. 2 – Кинематична схема на манипулатора  
 ната схема показва, че ограничените възможности за ориентация и преместване на крайното подвижно звено, към което е свързан обектът изискват манипулаторният механизъм да притежава както глобална, така и локална структури.

За математическото решение на задачата е необходимо да се направят следните предпоставки:

1. Дължините  $l_0, l_1, l_2, l_3$  и  $l_4$  са предварително известни;
2. Към всяко звено се фиксират съответно координатните системи  $R_0, R_1, R_2, R_3, R_4$  с начала в характерните точки  $O, O_1$  до  $O_4$ , в които се осъществяват връзките между звената.

За равнината част от структурата на механизма осите  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$  са успоредни помежду си. При тези условия задачата се състои от две части:

1. Определяне координатите на точките  $O_4$  и  $O_5$  в координатната система  $R_0$ ;

2. Определяне ориентацията на вектора  $\overrightarrow{O_4O_5}$  в  $R_0$ .

Ще се използват трансформационните матрици за координатите на даден вектор от една координатна система в друга (Ексеров 1989).

На ротациите  $R_1$  спрямо  $R_0$  около  $Z_0$  на ъгъл  $\varphi_1$  съответства матрицата

$$M_0^1 = \begin{pmatrix} \cos 1 & \sin 1 & 0 \\ -\sin 1 & \cos 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

А за  $R_2$  спрямо  $R_1$  около  $X_2$  на ъгъл  $\varphi_2$  – матрицата

$$M_1^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2 & \sin 2 \\ 0 & -\sin 2 & \cos 2 \end{pmatrix}$$

и за  $R_3$  спрямо  $R_2$  около  $X_3$  на ъгъл  $\varphi_3$

$$M_2^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 3 & \sin 3 \\ 0 & -\sin 3 & \cos 3 \end{pmatrix}$$

На трансляцията на  $R_4$  спрямо  $R_3$  по оста  $Y_3$  на разстояние  $T_4$  съответно:

$$M_3^4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Следващата стъпка е определяне на матриците на преход към репер  $R_0$

$$|M_0^2| = |M_0^1| \times |M_1^2|$$

$$|M_0^3| = |M_0^1| \times |M_1^2| \times |M_2^3|$$

$$|M_0^4| = |M_0^1| \times |M_1^2| \times |M_2^3| \times |M_3^4|$$

При което се установява, че след преобразуване и опростяване (за опростяване се полага -  $T_0 = l_3 + l_4 + T_4$ ,  $L = l_0 + l_1$ ) се получават уравненията описващи положението и ориентацията на звената на механизма:

$$x_5 = \sin 1 * [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)]$$

$$y_5 = \cos 1 * [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)]$$

$$z_5 = L - l_2 * \sin 2 - T_0 * \sin(2 + 3)$$

$$i_4^{x_0} = \cos 1$$

$$i_4^{y_0} = -\sin 1$$

$$i_4^{z_0} = 0$$

$$j_4^{x_0} = \sin 1 * \cos(2 + 3)$$

$$j_4^{y_0} = \cos 1 * \cos(2 + 3)$$

$$j_4^{z_0} = -\sin(2 + 3)$$

$$k_4^{x_0} = \sin 1 * \sin(2 + 3)$$

$$k_4^{y_0} = \cos 1 * \sin(2 + 3)$$

$$k_4^{z_0} = -\cos(2 + 3)$$

Изведените уравнения представляват геометричния модел който се записва в съкратена форма с векторното уравнение

$$\vec{X}_{R_0} = F(\vec{\varphi} - \vec{\varphi}_0)$$

или чрез системата:

$$x_5 = [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)] * \sin 1$$

$$y_5 = [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)] * \cos 1$$

$$z_5 = L - l_2 * \sin 2 - T_0 * \sin(2 + 3)$$

$$j_4^{y_0} = \cos 1 * \cos(2 + 3)$$

## МЕТОДИКА

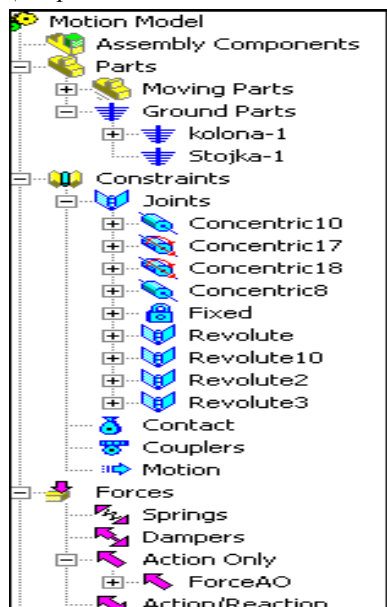
Методиката на научното изследване е изцяло в съответствие с набелязаните по – горе предпоставки, цели и планирани действия за осъществяването им.

Тъй като обектът е виртуален модел на машина, изпълнен на CAD система, то крайните резултати са пряко свързани и зависими от съответствието между модела и манипулатора.

Във тази връзка трябва да се отбележат следните детайли и важни изисквания към графичния CAD – модел:

- максимално подробно и точно отразяване на формата и метриката на структурните елементи (звена и връзки), като в случая тук се отнасят и задвижващите хидравлични цилиндри фиг.1;

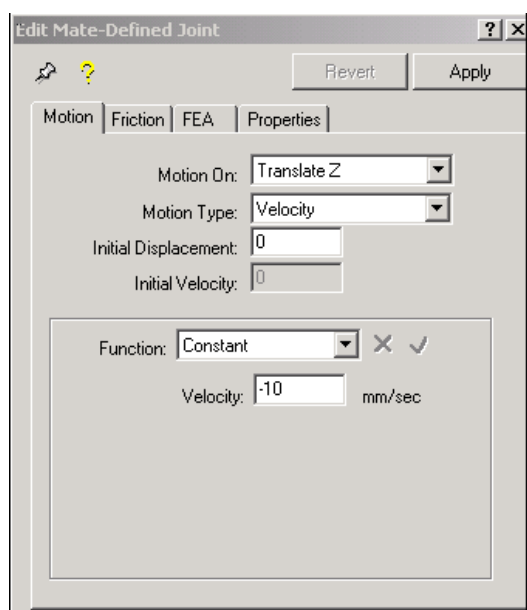
- при сглобяване на модела и представянето му като асембли обект е необходимо да се отрази пълното съответствие с кинематичната схема на манипулатора, както и граничните условия в кинематичните връзки. Това се извършва в средата на Dynamic designer в дървото на компонентния мениджър фиг.3.



Фигура 3 Управление на компонентите в Dynamic Designer

Механизмът е изследван при най-тежкия случай на натоварване, който се получава при повдигане на максимален товар (крепеж панел) 10 kN при съвместното движение на стрелата и рамото. Параметрите на движение се задават като свойства на съответните връзки.

Изследва се движението при постоянна скорост на движение на цилиндрите на стрелата и рамото съответно 10 mm/s и 33 mm/s, тъй като това типичния режим на работа на задвижване с хидравлична система.. На фиг. 4 е показан пример на прозорец, с който се задава постоянна скорост на цилиндъра на стрелата.



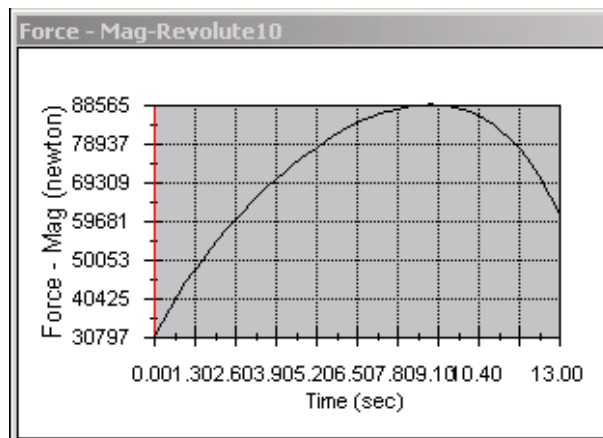
Фигура 4 Прозорец за задаване на параметри на връзките

След задаване на всички параметри на връзките, на режима на работа и условията на натоварване се активира процесът на симулация.

## РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

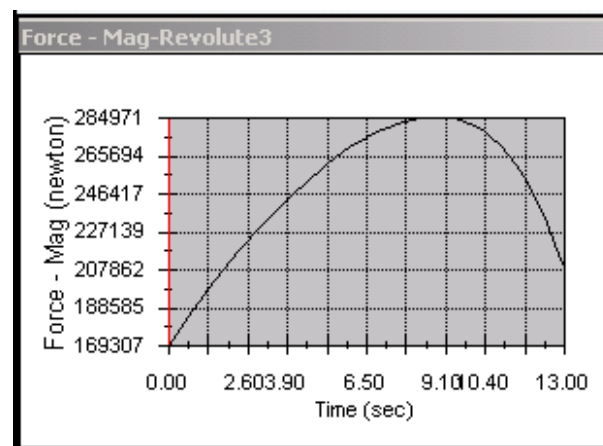
Резултатите от симулирането са представени графично.

1. На фиг.5 е показана зависимостта на изменение на идеалната реакция в цилиндричния шарнир между стрелата и рамото на манипулатора.



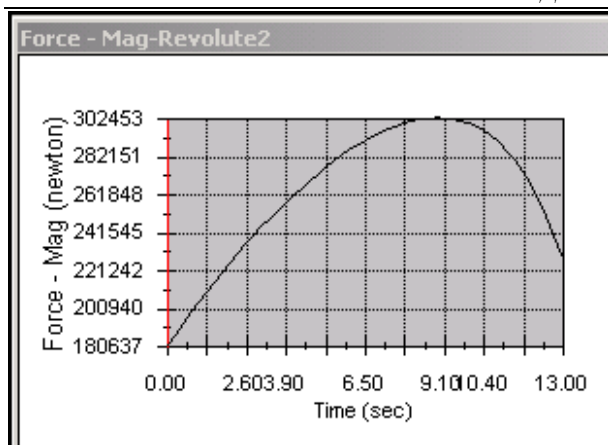
Фигура 5 Реакция в шарнира стрела-рамо

2. На фиг.6 е дадено изменението на идеалната реакция в шарнира стрела-колона



Фигура 6 Зависимост на идеалната реакция в шарнира стрела-колона

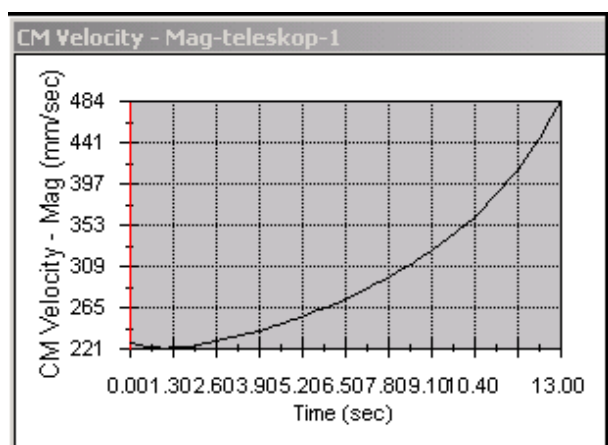
3. Изменението на силата в цилиндъра на стрелата е показано на фиг7.



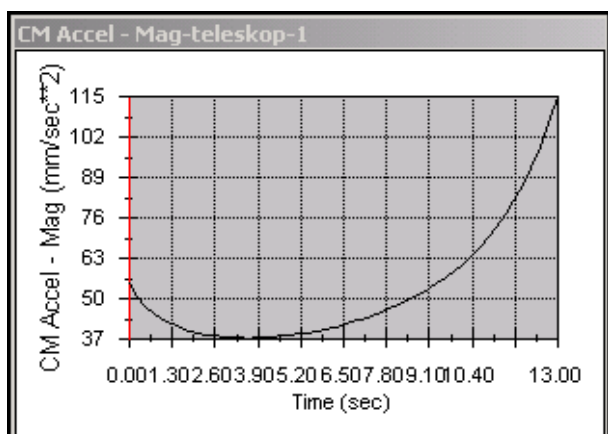
фигура 7 Изменение на силата в цилиндъра на стрелата

4. Кинематичните параметри на основни елементи на манипулатора са дадени на следващите фигури както следва:

- На фиг. 8 е дадена зависимостта на изменение на скоростта на масовия център на телескопа, а на фиг.9 – зависимостта за ускорението на масовия център на телескопа.



Фигура 8 Скорост на масовия център на телескопа



Фигура 9 Ускорение на масовия център на телескопа

Изводи:

1. Създадена е методика за кинематично и динамично изследване на крепежен манипулатор. Тази методика се основава на използването на 3D CAD модел в съчетание на динамичен симулатор.

2. Крепежният манипулатор е изследван при зададени постоянни скорости на стрелата и рамото при максимален товар на крепежния елемент.

Резултати могат да се използват за оптимизиране на конструкцията на елементите на манипулатора при различни целеви функции като минимизиране на масата, повишаване коефициента на сигурност.

На базата на получените резултати могат да се подобрят и режимите на управление на хидравличната система за задвижване, като се оптимизират преходните процеси на хидроразпределителните елементи.

3. Методиката за изследване на динамичното натоварване може да се подобри значително като се използват възможностите на "spline" опцията за въвеждане на скоростта  $\omega(t)$ , като се задават параметрите за отделни участъци със стойност  $\omega(t) = 0$ . Това ще позволи да се отчитат в тези характерни точки, само статичните натоварвания в елементите.

Литература:

Fu K.S. R.C.Gonzalez, C.S.Lee Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence, McGraw-Hill NY 1989  
 Накано Э. Введение в робототехнику, Москва, Мирр 1989  
 Асенов Е. Ръководство за работа със SolidWorks 2002  
 Ексеров П. Товароподемни манипулатори и роботи, София, Техника 1989

Препоръчана за публикуване от катедра " ", МЕМФ



# GALLERY SUPPORT MANIPULATOR – DYNAMICAL RESEARCH

Tsvetan Damyanov

Emil Assenov

Zahari Mihalkov

Patar Nedyalkov

University of Mining and Geology  
"St. Ivan Rilski"  
Sofia, 1700 Bulgaria

TU  
Sofia, Bulgaria

University of Mining and  
Geology "St. Ivan Rilski"  
Sofia, 1700 Bulgaria

University of Mining and  
Geology "St. Ivan Rilski"  
Sofia, 1700 Bulgaria

## ABSTRACT

The results of kinematic and dynamic study of gallery support manipulator are shown. A methods for 3D SolidWorks modeling and the Dynamic Designer simulation is created. The results present the telescope velocity and acceleration and dynamic reaction in the linkage of the arm and the jib, the jib, and column forces and the force of the hydraulic cylinder.

## INTRODUCTION

Forming of steady support gallery is an important part in technological process. It has an advantage as high level of technical security of support and good technical and economical parameters. The object of study is a manipulator that was created by the author team from "Minsrtoy". This manipulator as similar as "Maschinen-fabrik – Moeminghoff's manipulator. It causes of – vertical rotated column, two telescopic job, a special catch unit with local structure with two degree of freedom. The manipulator can work with heavy beton element with weight of 500 – 1000 kg and create the gallery with diameter -  $\varnothing$  4,0 - 4,5m.

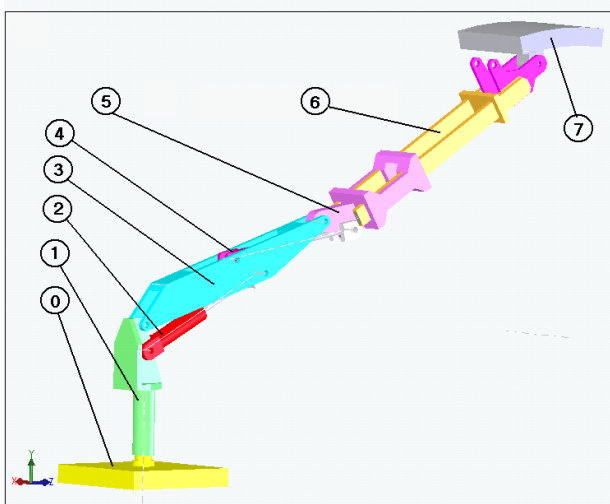


Figure 1 Scheme of the manipulator

A scheme of the manipulator is show in Fig. 1, where:

- 0 – base;
- 1 – column with vertical rotated R linkage;
- 2 – leading cylinder for jib;
- 3 – jib;
- 4 – leading cylinder for arm;
- 5 – arm with horizontal R linkage;
- 6 – telescopic arm with translation T linkage with the arm;
- 7 – support element;

The manipulator technical parameters are given in Table 1.  
Table 1

No	parameter	dimen sion	value
1	Load – minimal	kN	10

2	Stroke of the telescope – $S_3$	mm	1100
3	Angle of rotation of vertical column -	deg	210°
5	Angle between arm and job – $\beta$ minimal - maximal -	deg	40° 185°
6	Angle of rotation of support element perpendicular to the axis of the job - $\alpha_z$	deg	45°
7	Angle of rotation of sup. elem-ent around of the job axis - $\alpha_x$	deg	360°
8	Maximum rotation moment of the catch mechanism	Nm	1200
9	Distance between axis of the manipulator rotation and the catch mechanism	mm	3560 - 4660
10	Working pressure	MPa	20
11	Width of beton element	mm	800
12	Mass of the manipulator	kg	1000

The manipulator is part on the loader 2PNB-2, and the machine has high effectiveness.

The dynamical study of the manipulator is important because of high weight of the beton element (1000 kg) and weight of the manipulator elements creates large dynamical forces in the unestablished work rates. Also of the fact that operator work, so we have a biotechnical control system in changeable work cycles and conditions.

The aim of this works is to:

1. Make a computer modeling of a parameters of high loaded manipulator elements;
2. Define the conditions of kinematical scheme, driving system, manipulator metrics and object and special feature of technological process;
3. Create 3D – assembly model in Solid Works with correct kinematical linkages between moving;
4. Define the dynamic parameters in Dynamic Designer environment;
5. Structure of the computing module and decision of the dynamical purpose, in conformity with nominated methodics for development.

GEOMETRICAL MODEL

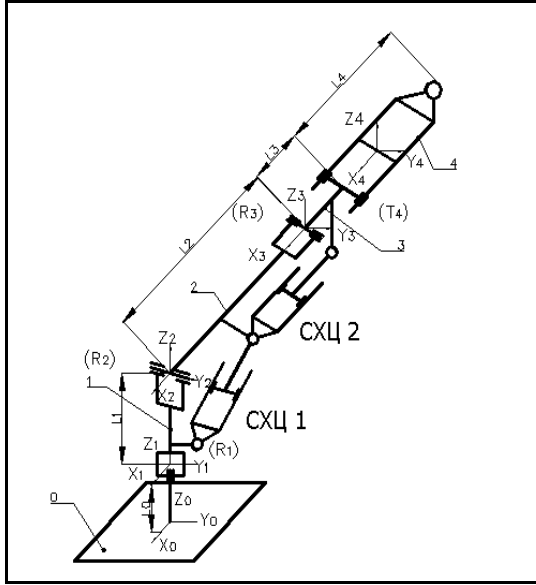


Figure 2 – Kinematical scheme of the manipulator

The kinematical scheme of the geometric model is shown in Fig.2. There are shown relations between parts. This type of scheme allows mathematical purpose of the kinematical parameters for all parts related to the base. The shown parts are:

- 0 – base grounded part;
- 1 – column with rotatory (R<sub>1</sub>) linkage to the base and vertical axis (Z<sub>0</sub>) of relative rotation (φ<sub>1</sub>);
- 2 – jib with rotatory (R<sub>2</sub>) linkage to the column (1) and horizontal axis (Y<sub>2</sub>) of relative rotation (φ<sub>2</sub>);
- 3 – arm with rotatory (R<sub>3</sub>) linkage to the jib (2) and horizontal axis (Y<sub>3</sub>) of relative rotation (φ<sub>3</sub>);
- 4 – telescope with translation (T<sub>4</sub>) linkage to the arm (3) and relative translation (x<sub>4</sub>) on axis (X<sub>4</sub>).

This kinematic scheme is plane opened and work when the linkage base – column is blocked with base manoeuvre  $m_6 = 0$ , with general manoeuvre  $m_0 = -2$ . The characteristic of this kinematic scheme shows that the manipulator requires global and local structure. That is mean to the limited possibility for operation only with the global structure.

For mathematical developing (Fu, 1989; Nakano, 1989) of the problem we accept that:

1. The length of parts  $l_0, l_1, l_2, l_3$  and  $l_4$  are known;
2. Coordinate systems  $R_0, R_1, R_2, R_3, R_4$  have origine to point  $O, O_1$  to  $O_4$ , respectively, where the linkage between parts are.
3. The axes  $X_1, X_2, X_3$  and  $X_4$  are parallel

With these conditions the problem is divided to two parts:

1. Define the  $O_4$  and  $O_5$  coordinates to coordinate system  $R_0$ ;
2. Define the orientation of the vector  $\overrightarrow{O_4O_5}$  in  $R_0$ .

To make this we need to define the transformation matrixes (Ekserov 1989).

The rotation  $R_1$  toward  $R_0$  around  $Z_0$  in angle  $\phi_1$  is responsible to matrix:

$$M_0^1 = \begin{bmatrix} \cos 1 & \sin 1 & 0 \\ -\sin 1 & \cos 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

The rotation  $R_2$  toward  $R_1$  around  $X_2$  in angle  $\phi_2$  is responsible to matrix:

$$M_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2 & \sin 2 \\ 0 & -\sin 2 & \cos 2 \end{bmatrix}$$

The rotation  $R_3$  toward  $R_2$  around  $X_3$  in angle  $\phi_3$  is responsible to matrix:

$$M_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 3 & \sin 3 \\ 0 & -\sin 3 & \cos 3 \end{bmatrix}$$

The translation  $T_4$  toward  $R_3$  on axis  $X_4$  in distance  $T_4$  is responsible to matrix:

$$M_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrix for the transition to base  $R_0$  are:

$$\begin{aligned} |M_0^2| &= |M_0^1| \times |M_1^2| \\ |M_0^3| &= |M_0^1| \times |M_1^2| \times |M_2^3| \\ |M_0^4| &= |M_0^1| \times |M_1^2| \times |M_2^3| \times |M_3^4| \end{aligned}$$

After simplifying (for simplifying we put  $T_0 = l_3 + l_4 + T_4$ ,  $L = l_0 + l_1$ ) we have equation for the positions and orientations of the mechanism's part:

$$\begin{aligned} x_5 &= \sin 1 * [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)] & i_4^{x_0} &= \cos 1 \\ y_5 &= \cos 1 * [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)] & i_4^{y_0} &= -\sin 1 \\ z_5 &= L - l_2 * \sin 2 - T_0 * \sin(2 + 3) & i_4^{z_0} &= 0 \\ j_4^{x_0} &= \sin 1 * \cos(2 + 3) & k_4^{x_0} &= \sin 1 * \sin(2 + 3) \\ j_4^{y_0} &= \cos 1 * \cos(2 + 3) & k_4^{y_0} &= \cos 1 * \sin(2 + 3) \\ j_4^{z_0} &= -\sin(2 + 3) & k_4^{z_0} &= -\cos(2 + 3) \end{aligned}$$

Deduction equations are geometric model, witch short type is:

$$\bar{X}_{R_0} = F(\bar{\varphi} - \bar{\varphi}_0)$$

or be the system:

$$\begin{aligned} x_5 &= [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)] * \sin 1 \\ y_5 &= [l_2 * \cos 2 + T_0 * \cos(2 + 3)] * \cos 1 \\ z_5 &= L - l_2 * \cos 2 - T_0 * \sin(2 + 3) \\ j_4^{x_0} &= \cos 1 * \cos(2 + 3) \end{aligned}$$



The research method corresponds to those entire told upper.

We examine virtual model, created by CAD system we have some requests (Assenov, 2002). In view of the fact there are important requirements to the CAD model:

- maximum and accurately fulfillment of the forms, dimensions of the all manipulator's parts;
- 6. maximum and accurately fulfillment of the linkage between the manipulator's parts and linkage between them and hydraulic cylinders.
- 7.

After 3D SolidWorks modeling we put the model in the Dynamic Designer environment. After that we check the linkage property. This is shown on Fig.3.

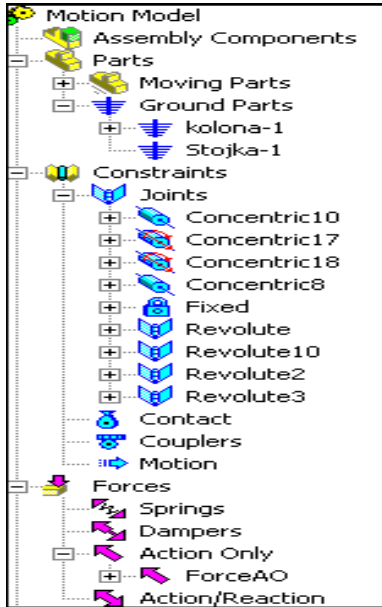


Figure 3 Dynamic Designer feature manager.

We set the maximum load beton element of 10 kN, and we set motion to be complex from movement of the jib and arm. Then we set motion – constant velocity of the hydraulic cylinders of the and arm equal to 10 mm/s and 33 mm/s. The mode of the motion we set is similar as usual mode in the simplified unregulated hydraulic leading. All this is made as assigning parameters of the linkage. An example the setting the constant velocity of the hydraulic cylinder is shown on Figure 4.

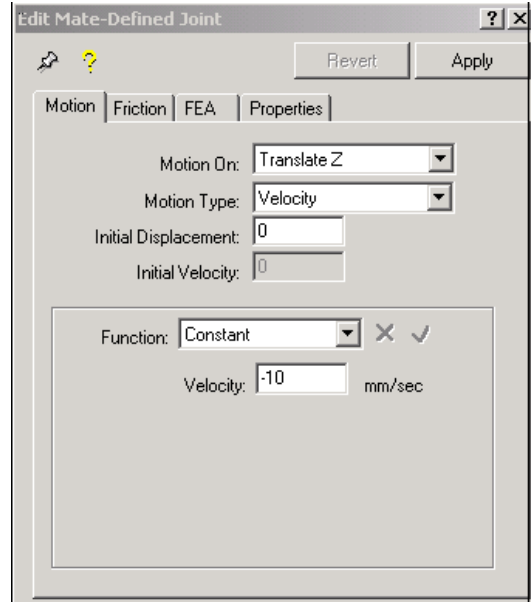


Figure A window for setting the joint parameters

When all parameters are assigned we run simulation process.

## RESULTS AND DECISIONS

The simulation results are shown graphically

1. The ideal reaction in cylindrical joint between jib and the arm is shown on Fig.5.

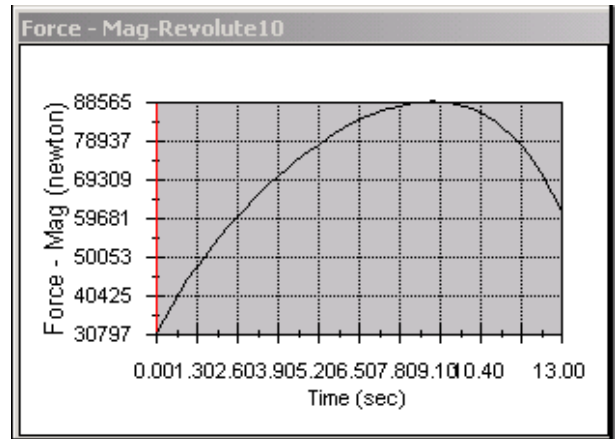


Figure 5 Reaction in joint jib – arm.

2. The ideal reaction in cylindrical joint between the and the column is shown on Fig.6.

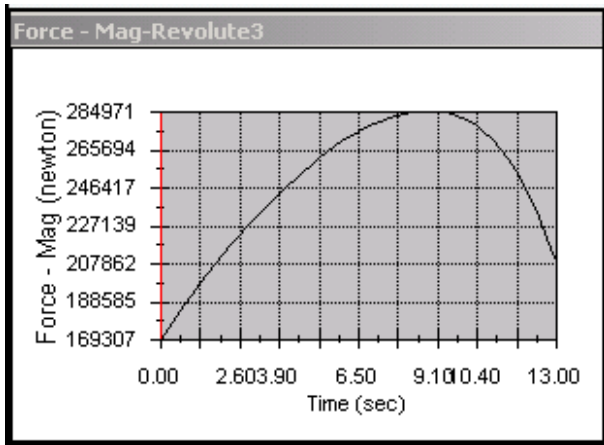


Figure6 Reaction force in joint - column

3. The force in hydraulic cylinder of jib is shown on Fig.7.

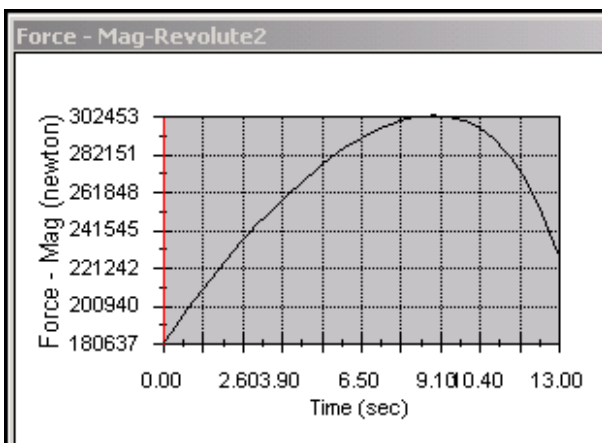


Figure 7. Force variation of the hydraulic cylinder of the jib.

4. The manipulator's parts kinematic parameters are shown in Fig.8 and Fig.9

- The velocity of mass center of the telescope is shown in Fig. 8 and in Fig. 9 is shown acceleration of the mass center of the telescope.

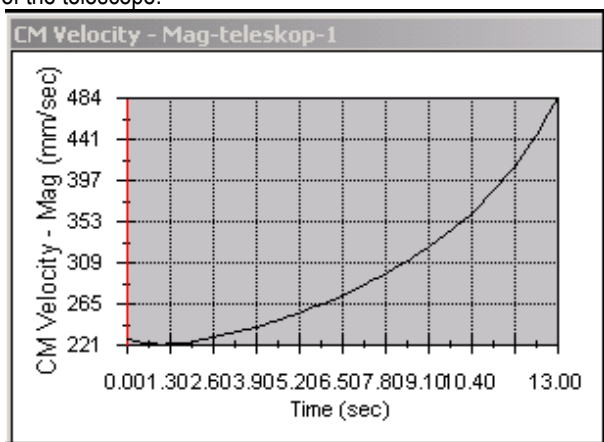


Figure 8 Velocity of mass center of the telescope

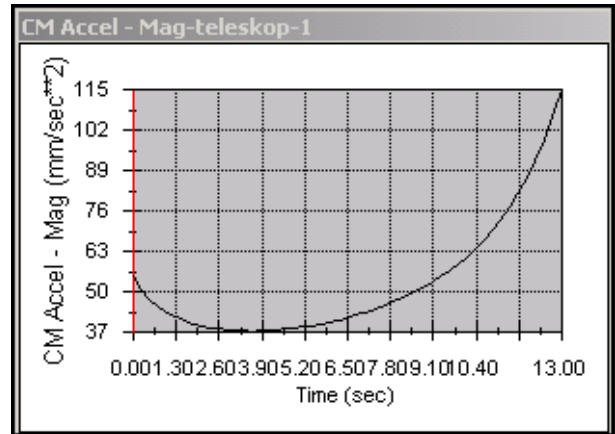


Figure 9 Acceleration of the mass center of the telescope

## CONCLUSIONS

Methods for kinematic and dynamic study of gallery support manipulator are made. These methods are based on combination of 3D CAD modeling and dynamic simulation.

The gallery support manipulator is studied by the constant velocity of the jib and the arm hydraulic cylinders and to maximum load.

*The results can be used for the manipulator's elements optimization for minimum mass and increasing the security coefficient*

The results can be used for improving control rate of the hydraulic system, as we optimize transition process of hydro distributing elements.

*Methodic for development of the dynamic loading will be improved, as we use opportunities of "spline" option for entering of leading velocity  $\omega(t)$ . We can enter for some part of trajectory leading velocity  $\omega(t) = 0$ . This enables us to study in characteristic points only static load of manipulator's elements.*

## REFERENCE

- Fu K.S, R.C.Gonzalez, C.S.Lee Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence, McGraw - Hill NY1989
- Nakano E. Introduce in robotics, Moskva, Mirr 1989
- Assenov E. SolidWorks manual, Sofia, 2002
- Ekserov P. Hosting manipulators and robots, Sofia, Tehnika 1989

*Recommended for publication by Department of  
Mine mechanization, Faculty of Mining Technology*