



# СИНТЕЗ НА ГЕОМЕТРИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА КРАЧЕЩ РОБОТ С МИНИМАЛЕН БРОЙ ЗАДВИЖВАЩИ МЕХАНИЗМИ

Иван Чавдаров, Веселин Павлов, Илиян Бузов

***Резюме:** Представена е оригинална схема на крачещ робот с две степени на свобода. Краченето на робота се осъществява с помощта на равнинен механизъм. Разгледани са различни варианти на механизма. Предложен е подход за определяне на области, в които механизма е дефиниран, както и изследване на геометрични характеристики на механизма. Търсят се оптимални пропорции на размерите на звената, с цел максимална дължина и височина на крачката. Резултатите са представени графично. Разгледани са предимства и недостатъци на предложените варианти на механизмите за крачене и влиянието на геометричните параметри върху устойчивостта на робота при движение по равен терен.*

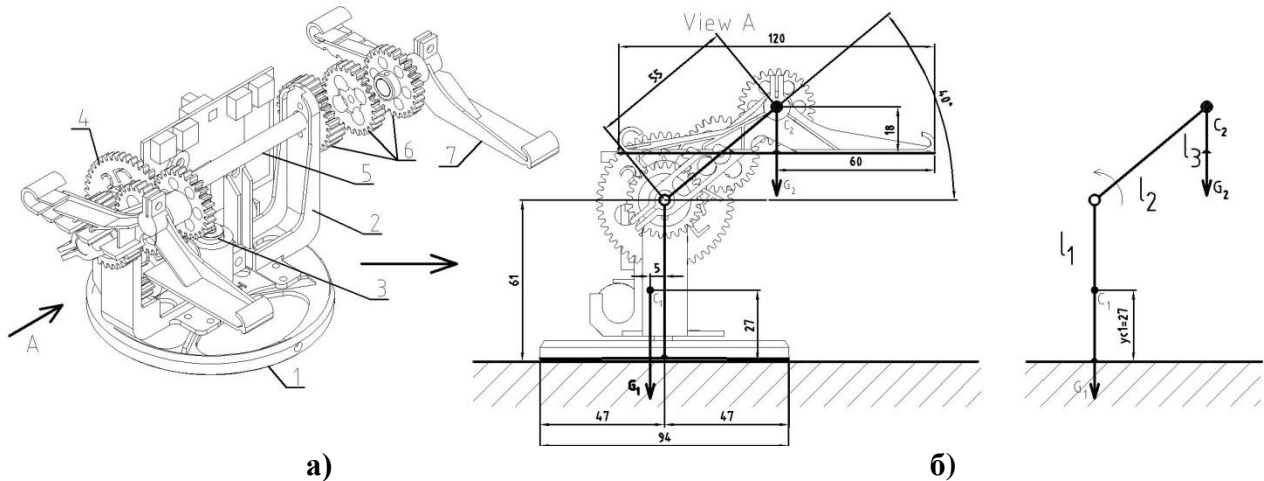
**Ключови думи:** Крачещ робот, синтез на равнинни механизми, пропорции на размерите.

## 1. Въведение

В [1] и [2] е предложена оригинална схема на крачещ робот и е разгледан принципа му на работа. Робота (фиг.1а) се състои от основа 1, върху която са монтирани два двигателя които му позволяват да се придвижва с крачене и да завива. Той се движи като запазва статична устойчивост благодарение на голямата кръгла основа 1 и стъпалата 7. Двигателя 3 осъществява завиване на робота, втори двигател задвижва вала 5 посредством зъбна предавка 4. Стъпалата 7 запазват постоянна ориентация спрямо основата 1 благодарение на предавателния механизъм 6. Придвижването на робота посредством крачене се осъществява с помощта на два идентични равнинни механизма. На фиг.1. са дадени схемата и основните размери на робота.

## 2. Конструктивни схеми и варианти на механизма за запазване на успоредност

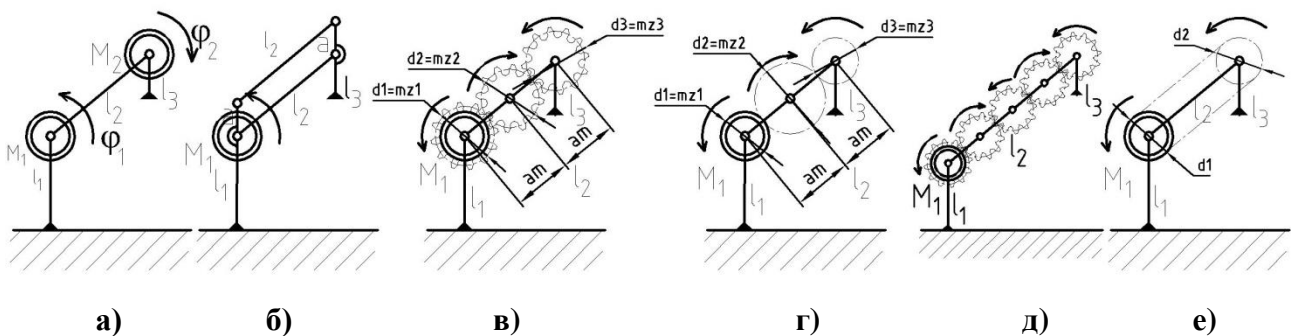
Равнинният механизъм за крачене се състои от три звена свързани по между си с ротационни връзки (фиг.1а.). Първото (1) и третото звено (7) имат „Т” образна форма, която осигурява добра устойчивост на механизма при крачене. От дължините на размерите  $a_1$  и  $a_2$  зависи статичната устойчивост на механизма. Необходимо е те така да се подберат, че проекцията на центъра на тежестта на робота да не излиза извън тях. Размерите  $a_1$  и  $a_2$  могат да се определят от условията за запазване на статична устойчивост на механизма и зависят от дължините  $l_1, l_2, l_3$ , и масите на звената (масовите сили  $G_1$  и  $G_2$ ):



Фиг.1. Конструкция, основни размери на работа - а) и структурна схема - б).

$$\begin{aligned} a_1 &= f(l_1, l_2, l_3, G_1, G_2, y_{c1}); \\ a_2 &= f(l_1, l_2, l_3, G_1, G_2, y_{c1}); \end{aligned} \quad (1)$$

Приема се, че масовите сили  $G_1$  и  $G_2$  са известни, а приложните им точки  $c_1$  и  $c_2$  са съответно по оста на звено (1) за  $G_1$  и в оста на ротационната връзка (между звена  $l_2$  и  $l_3$ ) за  $G_2$ . При тези условия, определящи са трите дължини  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  и може да се разгледа опростена схема - фиг.1 б) за да се изследва този механизъм. Важно условие за правилната работа на механизма е запазването на успоредност между двете „Т” образни звена (съответстват на поз. 1 и поз.7 от фиг.1 и се определят от размерите  $a_1$ ,  $l_1$  и  $a_2$ ,  $l_3$  ). Има различни варианти за запазване на тази успоредност при движение фиг.2.



Фиг.2. Способи за запазване на успоредност между две звена.

Първият вариант даден на фиг.2. а) илюстрира запазване на успоредност като се ползват два двигателя които се управляват с взаимно зависим алгоритъм за управление. Необходимо е двигателите да се въртят с еднаква скорост и противоположни посоки така, че  $\varphi_2 = -\varphi_1$ . Тази схема има неудобствата, че се увеличава броя на двигателите, повишава се масата и има проблеми с предаване на електрическите сигнали при завъртане на повече от  $180[^\circ]$ . Другите варианти ползват принципно различен подход, който постига целта с ползване на подходящи предавателни механизми. На фиг.2. б) е предложен класически



лостов механизъм (пантографен) за запазване на успоредността. Тук главните недостатъци са свързани с променлива функция на предаване на силите и необходимост от множество конзолно разположени звена, понеже завъртането е необходимо да надвишава  $360[^\circ]$ . Фиг.2. в), г) и д) представят различни варианти за реализация с помощта на зъбни колела. Броя на зъбните колела е необходимо да е нечетно число – 3, 5 ..., а сумарното предавателно число  $i = 1$ . Важно е да се ползват по възможност зъбни колела с по-малък диаметър защото от него зависят минималните размери на  $l_1$  и  $l_3$ . Последната фиг.2.е) предлага ползването на гъвкав елемент – ремък или верига. Тези предавки имат малка маса и габаритни размери, но се нуждаят от осигуряване на постоянен опън във веригата (гъвкавите елементи предават само сили на опън).

### 3. Нормиране на дължините и дефиниционна област.

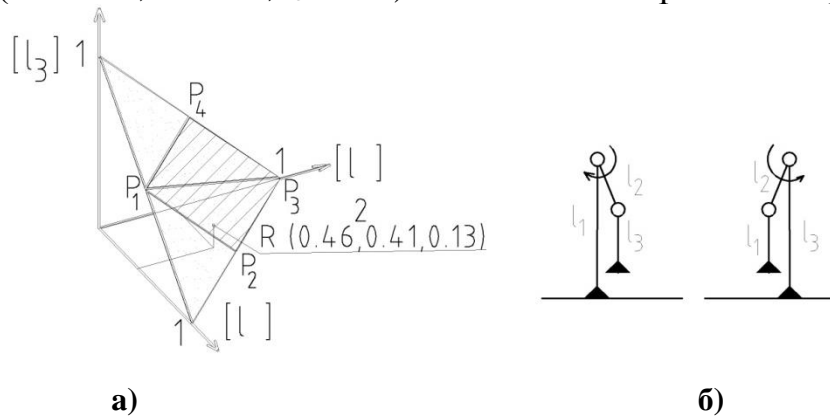
От направените разсъждения формула (1) и фиг.1 се достига до извода, че основните геометрични параметри определящи свойствата на механизма са дължините  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$ . В конкретния пример фиг.1.  $l_1=61$  [mm],  $l_2=55$  [mm] и  $l_3=18$  [mm]. Това съответства на един модел на работа направен с помощта на 3D принтер. Логично е да се очаква, че при пропорционално увеличение на размерите и масите на модела ще се получи крачещ робот с много сходни свойства. Следователно за качествени изменения в свойствата е важно какви са пропорциите между основните размери ( $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$ ) и маси ( $m_1$ ,  $m_2$ ) на механизма. Търси се подходящ начин за нормиране на тези размери. За да се нормират дължините ( $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$ ) на работа може да се фиксира една от тях като се приеме за единица и се варира останалите две. Проблема на този подход, е че няма причина коя от трите дължини да се избере като най-важна и в какви граници да се варира останалите?

Поради тези причини се предлага [2] като база за нормиране да се ползва сумата от дължините на звената. Приема се:

$$l_1 + l_2 + l_3 = const = 1 \quad (2)$$

Това уравнение позволява да се изследват изменението на различни свойствата на работа като функция на размерите му. На следващ етап лесно може да се получат размерите на действителен модел като се умножат нормираните дължини по коефициента на мащабиране. Например за работа от фиг. 2.  $l_1 + l_2 + l_3 = 134$  [mm],  $l_1 = 61$ [mm],  $l_2 = 55$ [mm],  $l_3 = 18$ [mm], формула (2) придобива вида:  $0.455223881 + 0.410447761 + 0.134328358 = 1$ ; а коефициента на мащабиране е  $134$ [mm], т.е. ако се умножат нормираните дължини  $l_1 = 0.455223881$ ,  $l_2 = 0.410447761$ ,  $l_3 = 0.134328358$ , по  $134$ [mm] ще се получат действителните размери от фиг.1. Известно, е че (2) представлява уравнение на равнина в пространството при това отрезите и са равни на 1. Като имаме в предвид, че  $l_1 > 0$ ;  $l_2 > 0$ ;  $l_3 > 0$  защото са размери на реални обекти, се получава триъгълна област (фиг.3а) разположена в първи квадрант на

координатната система с координати нормираните дължини ( $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$ ). Точка R с координати ( $l_1 = 0.46$ ;  $l_2 = 0.41$ ;  $l_3 = 0.13$ ) съответства на робота от фиг.2.



**Фиг.3. Нормирано пространство на основните дължини ( $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$ ) на робота - а).  
Схема на механизма при  $l_1 < l_2 + l_3$  и  $l_3 < l_2 + l_1$ , където робота не може да достигне до терена - б)**

За да е възможно движение чрез крачене от предложения механизъм е необходимо (виж фиг.3b):

$$l_1 > l_2 + l_3 \text{ и } l_3 > l_2 + l_1. \quad (3)$$

При равенство в неравенства (3) се получава гранична ситуация при която стъпалата (или тялото) на робота се докосват в даден момент до терена при пълно завъртане на задвижващия двигател. Тези гранични уравнения на равнини ограничават областта в пространството от размерите на робота. Уравнението  $l_1 = l_2 + l_3$  задава равнина която минава през точки  $P_1$ ,  $P_2$  и началото на координатната система. Уравнението  $l_3 = l_1 + l_2$  задава равнина която минава през точки  $P_1$ ,  $P_4$  и началото на координатната система. Като отчетем, че дължините са неотрицателни за областта в която е дефиниран механизма, получаваме ромб определен от точките  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  - фиг. 3а.

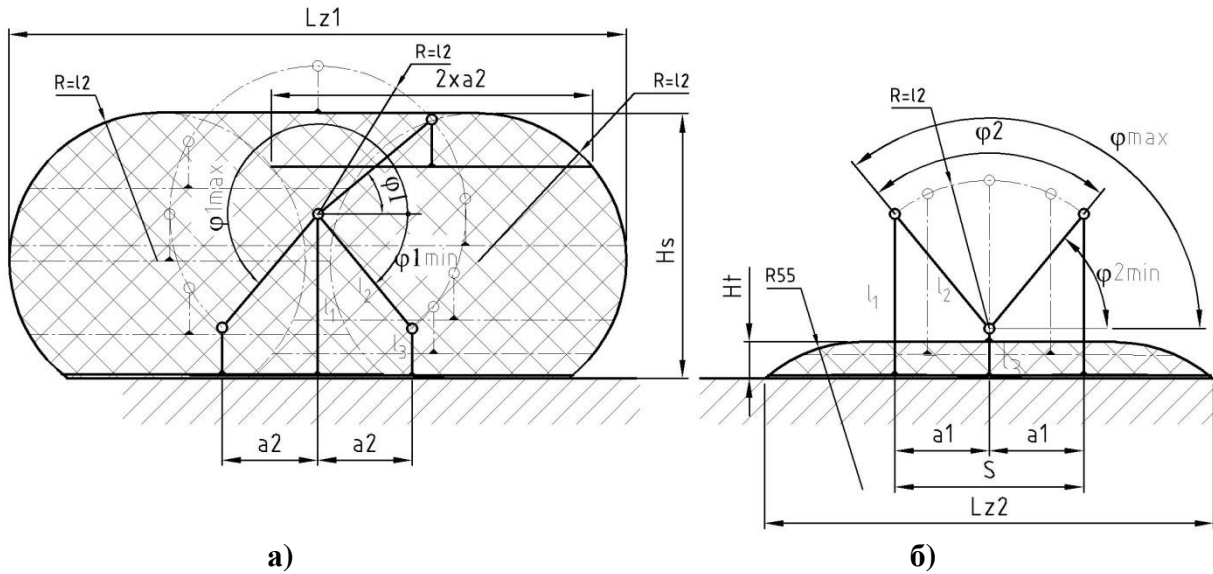
#### 4. Определяне на оптимални пропорции на звената с цел достигане на максимална дължина на стъпката.

На фиг.4 са дадени двете фази на крачене – опорно тяло (1) и опорни стъпала (7). В първата фаза стъпалата се движат по кръгови траектории, като се завъртат ъгъл  $\varphi_1$  от  $\varphi_{1min}$  до  $\varphi_{1max}$ . Във втората фаза тялото се завърта на ъгъл  $\varphi_2$  от  $\varphi_{2min}$  до  $\varphi_{2max}$ . Стъпката  $S$ , на която се придвижва робота се определя от втората фаза по формулата:

$$S = 2a_1 = 2\sqrt{l_2^2 - (l_1 - l_3)^2}; \quad (4)$$

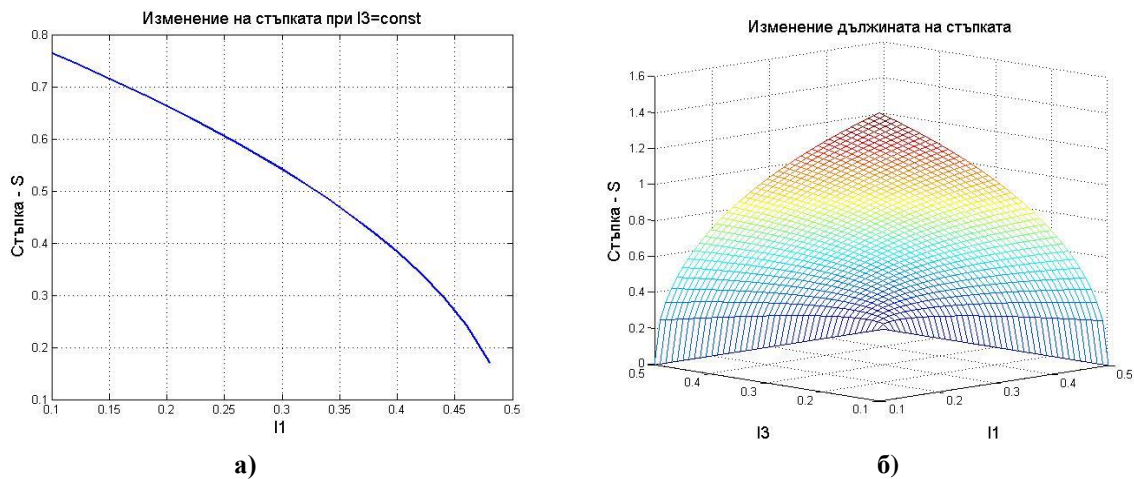
Височината на повдигане на тялото  $H_t$  и стъпалата  $H_s$  са съответно :

$$H_t = l_3 + l_2 - l_1; H_s = l_1 + l_2 - l_3. \quad (5)$$



Фиг.4. Зони на достижимост при крачене. Неподвижно тяло (1) – а) и неподвижни стъпала (7) – б)

На фиг.5а) е дадена графиката на изменение на стъпката  $S$  при  $l_3=0.134$  и вариране на  $l_1$ . Като се променят дължините  $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$  на звената така, че да се обхожда дефиниционната им област съгласно фиг.3.а), се получават различни резултати за дължините на стъпката – фиг.5б). Получените резултати за стъпката  $S$  са безразмерни. За да се получат като физически величини е необходимо да се умножи по коефициента на мащабиране.



Фиг. 5. Графики на изменение на дължината на стъпката на стъпалата при различни комбинации от дължини  $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$  на звената.

На фиг.5 графично са представени резултатите за изменение на стъпката във функция на основните размери на робота. Максимална стойност  $S = 1.6$  се получава при  $l_1=0.1$ ,  $l_2=0.8$ ,  $l_3=0.1$ .



## 5. Заключение

Предложен е подход за вариране на нормирани дължини на основните звена на робота с цел определяне на функционалните му параметри. Определена е областта в пространството на нормираните дължини  $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$ , в която е дефиниран механизма. От представените графични резултати се вижда, че максимална стъпка се получава при минимални дължини на звената  $l_1$  и  $l_3$ , които са ограничени от конструктивни съображения. Работата продължава с търсене на оптимални решения за преодоляване на различни препятствия в статията – „Оптимизация на геометрични параметри на крачещ робот с цел преодоляване на максимално по височина препятствие”.

## Литература:

1. Чавдаров И., Т. Танев, В. Павлов, Крачещ робот, Патентен регистър № 111362/05.12.2012 г. - Официален бюлетин, брой 6, 30.06.2014г. стр. 11
2. <http://www.bpo.bg/images/stories/buletini/binder-2014-06.pdf>
3. Чавдаров Иван, Генова Пенка, Захариев Роман, Синтез и оптимизации на петзвенна лостова кинематична верига за мехатронен модул. Механика на машините, кн. 53, ст. 131-138, ТУ – Варна, 2004.

## SYNTHESIS OF GEOMETRIC PARAMETERS OF WALKING ROBOT WITH A MINIMUM NUMBER OF ACTUATORS

Ivan Chavdarov, Veselin Pavlov, Iliyan Buzov

**Abstract:** *It is presented an original scheme of a walking robot with two degrees of freedom. The walking of the robot is implemented using a planar mechanism. Different variants of the mechanism are considered. It is proposed an approach for determining the areas in which the mechanism is defined, and studying geometric characteristics of the mechanism. The optimal proportions of the links dimensions are studied for maximum length and height of the step. The results are presented graphically. Presented are the advantages and disadvantages of the proposed walking mechanisms and the influence of the geometrical parameters on the stability of the robot when moving on flat terrain.*

## Данни за авторите:

Иван Чавдаров, доц. д-р инж., Институт по системно инженерство и роботика при БАН, София 1113, ул. “Акад. Г. Бончев”, бл.1, тел./факс.: (2)9792422, e-mail: [ivan\\_chavdarov@dir.bg](mailto:ivan_chavdarov@dir.bg)

Веселин Павлов, проф. д-р инж., Технически Университет – София, София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8, e-mail: [vpavlov@tu-sofia.bg](mailto:vpavlov@tu-sofia.bg)

Илиян Бузов, редовен докторант в Институт по системно инженерство и роботика при БАН, e-mail: [iliyan.buzov@est.fib.upc.edu](mailto:iliyan.buzov@est.fib.upc.edu)