

Уладзімір Анатолявіч
СКАРАБАГАТЫ,
старшы выкладчык кафедры
"Будаўнічыя і дарожныя машыны"
Беларускага нацыянальнага тэхнічнага
ўніверсітэта

ГЕАМЕТРЫЧНАЕ І АНАЛІТЫЧНАЕ МАДЭЛЯВАННЕ ШНЭКАЎ ПАВЫШАНАЙ ПРАДУКЦЫЙНАСЦІ

GEOMETRIC AND ANALYTICAL MODELING OF HIGH-CAPACITY SCREW CONVEYORS

У артыкуле з дапамогай камп'ютэрнага мадэлявання і праграмы AutoCad праведзены аналіз спосабаў атрымання паверхняў шнэкаў, з мэтай пераўтварэння іх з транспартавальных у рэзальна-транспартавальныя. Абгрунтаваны паніжэнне ўдзельнага супраціўлення рэзанню прапанаваным шнэкам, павялічэнне прызмы валачэння і, як след, — прадукцыйнасці рабочага органа ў цэлым.

В статье с помощью компьютерного моделирования и программы AutoCad выполнен анализ способов получения поверхностей шнеков с целью превращения их из транспортирующих в режуще-транспортирующие. Обоснованы уменьшение удельного сопротивления резанью предложенным шнеком, увеличение призмы волочения и, как следствие, — повышение производительности рабочего органа в целом.

The analysis of the methods for developing the surfaces of the screw conveyors aimed at converting them into cutting screw conveyors has been presented in this article using computer modeling and AutoCad program. A decrease in the specific resistance to cutting, an increase in the dragging prism and, as a result, an increase in the working capacity of the tool has been substantiated.

УВОДЗІНЫ

Адной з важнейшых ўласцівасцей вінтавых паверхняў з'яўляецца іх магчымасць рухацца ўздоўж саміх сябе, выконваючы вінтавое перамяшчэнне. Гэта ўласцівасць забяспечвае прыстасаванням з вінтавымі паверхнямі шырокае выкарыстанне: вінты, шнэкі, свёрлы, спружыны, турбіны і вентылятары, рабочыя органы суднавых рухачоў. Рабочыя органы з вінтавымі паверхнямі шырока выкарыстоўваюцца ў дарожна-будаўнічых і транспартуючых машынах. Прамы адкрыты гелікоід (далей шнэк) атрымліваецца пры руху прамалінейнай утваральнай па дзвюх гелісах аднолькавага шагу, калі ўтваральная застаецца перпендыкулярнай восі шнэка, і таму шнэкі не з'яўляюцца рэзальнымі рабочымі органамі, а толькі транспартавальнымі [1–5].

Распрацоўваць грунт менш энергаёмка магчыма эвальвентным шнэкам, які атрымліваецца рухам прамалінейнай утваральнай, якая застаецца датыкальнай да цыліндрычнай гелісы і з'яўляецца рабром звароту вінтавой паверхні. Эвальвентны шнэк (торс) ёсць разгортваемы гелікоід, як і ўсякая лінейная паверхня з рабром звароту.

Найбольшую ўвагу выклікае канвалютны гелікоід, які атрымліваецца рухам прамалінейнай утваральнай, што слізгае па гелісе на цыліндры і застаецца датыкальнай да апошняга, вугал нахілу ўтваральнай не роўны вуглу пад'ёму гелісы [6–11]. Гэтыя абставіны дазваляюць нахіліць утваральную пад любым вуглом менш за 90° да восі шнэка і пераўтварыць яго ў рэзальна-транспартавальны, што прывядзе да паніжэння ўдзельнага супраціўлення капанню; па велічыні яно будзе такім жа, як для нажа бульдозера або скрэпера. Напрыклад, для грунтаў I катэгорыі з аб'ёмнай масай у шчыльным целе 1200–1800 кг/м³ і каэфіцыентам разрыхлення $K_p = 1,05–1,20$ удзельнае супраціўленне капанню (рэзанню) складае 0,01–0,10 МПа. Значна ўзрастаюць функцыянальныя магчымасці шнэка, што дазваляе яму распрацоўваць нават звязныя грунты на больш высокіх

хуткасцях, павялічваючы прызму валачэння і каэфіцыенты запаўнення шнэка, а гэта прыводзіць да павышэння прадукцыйнасці ў цэлым. Паслядоўнасць пабудовы эвальвентнага шнэка прыведзена на рыс. 1а, 1б.

АНАЛІЗ СПАСАБАЎ АТРЫМАННЯ ПАВЕРХНЯЎ ШНЭКАЎ

Больш падрабязна разгледзім метадыку пабудовы разгорткі паверхні аднаго шагу шнэка, як найбольш складанай і адказнай дэталі для яго вытворчасці. Прынятыя абазначэнні:

D — вонкавы дыяметр шнэка;
 d — унутраны дыяметр шнэка;
 S — шаг шнэка, $S = D$;
 α — вугал пад'ёму гелісы шнэка;
 $\alpha = \arctg S/\pi d$.

Разгортку аднаго вітка шнэка выканаем у наступнай паслядоўнасці (рыс. 1в). Пабудуем вугал α і адложым радыус $OR_1 = d/2$. Затым знаходзім адрэзкі OP_1 , OM_1 , $M_1\mu$: па формулах:

$$OP_d = \frac{OP_1}{\cos \alpha} = \frac{OR_1}{\cos^2 \alpha}; \quad (1)$$

$$2OM_1 = \sqrt{\pi^2 \cdot d^2 + S^2}; \quad (2)$$

$$M_1\mu = \frac{OM_1}{6}. \quad (3)$$

Праводзім акружнасць радыусам OP_d і ад кропкі A_1 адкладваем дугу $A_1\alpha_1$, роўную $M_1\mu$, і аналагічна праекцыі α_1 атрымліваем кропкі α_2 , α_3 , α_4 , α_5 , ..., A_2 . У атрыманых кропках будзем датыкальныя да акружнасці, на якіх знаходзяцца кропкі, што ўтвараюць эвальвенты $A_1A'_1$ і $A_2A'_2$. Даўжыня датыкальнай m_1m_2 роўна яе праекцыі ад дзялення на $\cos \alpha$. Да радыуса OP_d будзем датыкальную і адкладваем m_1m_2 . Адрэзак om_2 — вонкавы радыус разгорткі

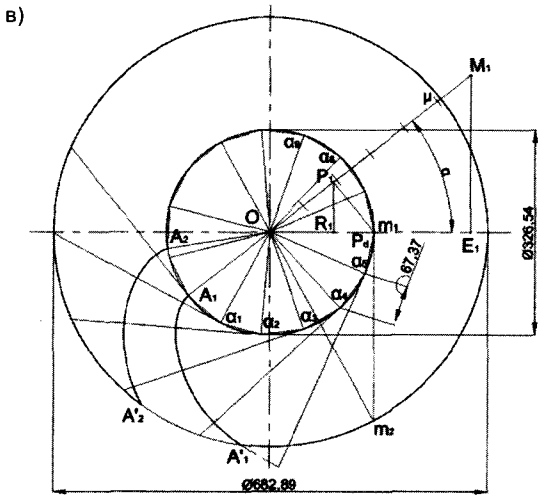
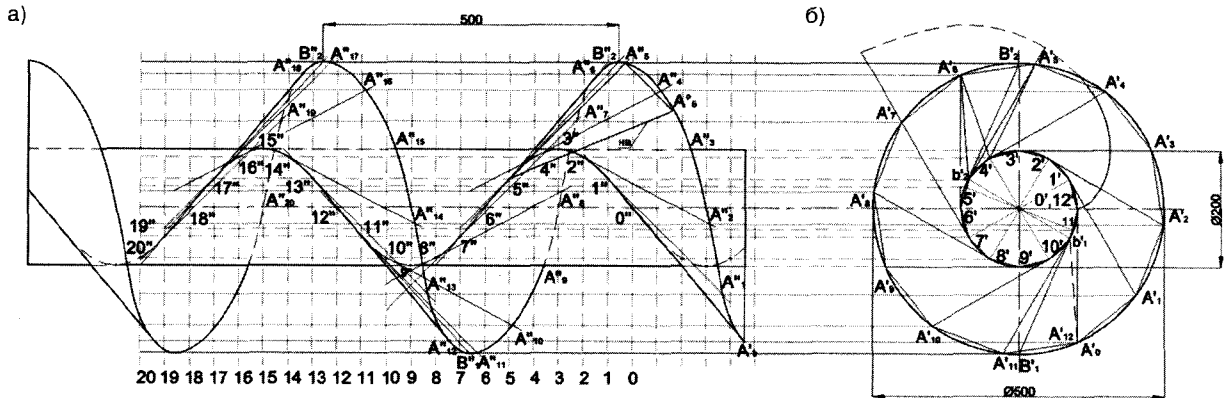


Рис. 1. Схема эвольвентнага шнэка:
а, б – пабудова шнэка;
в – пабудова разгорткі

Велічыню $1/12$ часткі акружнасці ўнутранага дыяметра d шнэка і адзінкавага восевага шага ўнутранай гелісы h знаходзім па формулах:

$$11'0' = \frac{\pi d}{12}; \quad (6)$$

$$h = \frac{S}{12}. \quad (7)$$

Меншая старана чатырохвугольніка, роўная даўжыні хорды $11'0'$, мае даўжыню дугі

$$11'0' = d \cdot \sin \frac{360}{12 \cdot 2} = d \cdot \sin 15.$$

Натуральная велічыня хорды пры $\alpha_y = \arctg S/\pi d$

$$11^0 0^0 = \frac{d \cdot \sin 15}{\cos \arctg \frac{S}{\pi d}}. \quad (8)$$

Натуральная велічыня вонкавай хорды

$$A^0 A_1^0 = \frac{d \cdot \sin 15}{\cos \alpha_b}. \quad (9)$$

З прамавугольнага трохвугольніка $0'B'11'$ знаходзім невядомыя стараны

$$0'B' = 0'11' \cdot \cos 15;$$

$$B'11' = 0'11' \cdot \sin 15;$$

$$A_0^0 0^0 = \sqrt{D^2 - d^2}.$$

З прамавугольнага трохвугольніка $A''_0 2'' 0''$ знаходзім катэт

$$0'' 2'' = A_0'' 2'' \cdot \sin 30;$$

$$11_0^0 11_0^0 = A_0'' 2'' \cdot \sin 30 - \frac{S}{12}.$$

Натуральную велічыню $A'_0 11'$ знаходзім па формуле

$$A'_0 11' = \sqrt{(A_0^0 B')^2 + (11_0^0 11_0^0)^2}, \quad (10)$$

дзе $A'_0 B' = A_0^0 0' - 0'B'$.

Будзем чатырохвугольнік $A_0 11^0 0^0 A^0$, са старанамі, роўнымі натуральным значэнням, ў якім адна дыяганаль

$$om_2 = \sqrt{m_1 m_2^2 + OP_d^2}.$$

Эвольвентная вінтавая паверхня прадстаўляе сабой прыватны выпадак канвалютнай, у якой вугал нахілу δ не роўны вуглу пад'ёма гелісы α . Нармальнае сячэнне гэтай паверхні ў залежнасці ад таго δ больш ці менш α будзе падоўжаная або пакарочаная эвольвента акружнасці радыуса, не роўнага радыусу OR_1 шнэка. Для пабудовы разгорткі паверхні канвалютнага шнэка павышанай прадукцыйнасці прыняты наступныя геаметрычныя памеры аналагічна эвольвентнаму:

D, d — адпаведна вонкавы і ўнутраны дыяметр шнэка;

S — шаг шнэка, $S = 1,5D$;

α — вугал нахілу ўтваральнай да восі гелісы.

Разбіваем акружнасць, напрыклад на 12 частак (рыс. 2а, 2б), і праводзім у кропках дзялення радыусы і датыкальныя, а затым будзем упісаны 12-вугольнік. Атрыманыя чатырохвугольнікі замяняем трохвугольнікамі, для гэтага праводзім у іх дыяганалі. Разгортку будзем пасля вызначэння натуральнай велічыні датыкальнай, роўнай дыяганалі чатырохвугольніка (гл. рыс. 2в).

Велічыня $1/12$ часткі акружнасці вонкавага дыяметра D шнэка складае

$$A'_0 A_1' = \frac{\pi D}{12}. \quad (4)$$

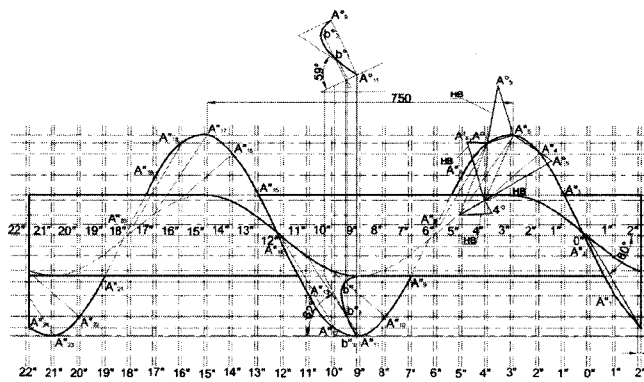
Вугал пад'ёму вонкавай гелісы шнэка

$$\alpha_b = \arctg \frac{S}{\pi D}.$$

Натуральная велічыня вонкавай хорды

$$A'_0 A_1' = \frac{D \cdot \sin 15}{\cos \arctg \frac{S}{\pi D}}. \quad (5)$$

а)



б)

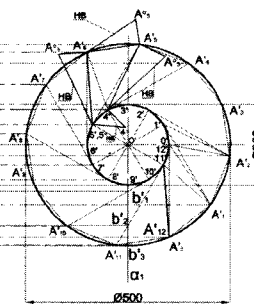
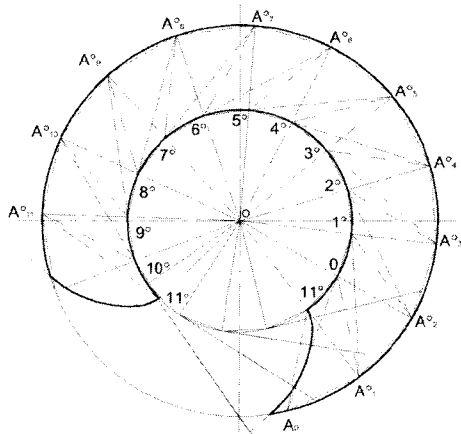


Рис. 2. Схема канвалютнага шнэка:
а, б — пабудова шнэка;
в — пабудова разгорткі

в)



Цэнтральны вугал будзе раўняцца $2 \cdot 11^\circ S^\circ O^\circ$.
Унутраны ($O^\circ S^\circ$) і вонкавы ($S^\circ A_1^\circ$) радыусы разгорткі
апрадзяляюцца па формулах:

$$O^\circ S^\circ = \frac{S^\circ 11^\circ}{2 \sin 11^\circ S^\circ O^\circ}; \quad (14)$$

$$S^\circ A_1^\circ = R = O^\circ S^\circ + A_1^\circ 11^\circ. \quad (15)$$

Каб вызначыць вугал рэзаньня атрыманага шнэка, правядзём гарызантальна-праецыруючую плоскасць α праз вось шнэка.

Атрымаліся кропкі перасячэння следа x_1 з утваральнымі g', b'_1, b'_2, b'_0 . Па лініях сувязі на адпаведных утваральных франтальнай праекцыі знаходзім кропкі g'', b''_1, b''_2, b''_0 і будзем лінію перасячэння, якая прадстаўляе сабой крывую пераменнага радыуса крывізны, як у адвала бульдозера або аўтагрэйдэра. У кропцы b_0 праводзім дадыкальную да атрыманай крывой, якая нахілена да гарызантальнай плоскасці пад вуглом 62° . Натуральную велічыню гэтага вугла вызначым праецыраваннем яго на плоскасць, праведзеную перпендыкулярна да вонкавай рэзальнай кропкі шнэка (гелісы) ў кропцы b''_2 . Гэту працэдуру выконваем спосабам замены пласкасцей ($25,52^\circ$ — вугал пад'ёму рэзальнай кромкі шнэка) і па лініях сувязі знаходзім праекцыі. Праводзім новую вось П4П2 пад вуглом $25,52^\circ$ да восі шнэка праекцыю крывой і датыкальнай. Атрыманы вугал рэзаньня 59° . Аналіз плошчаў сячэнняў прамога, эвальвентнага і канвалютнага шнэкаў паказаў, што плошча папярэчнага сячэння прызмы валачэння распрацоўваемага матэрыяла на $40\% - 50\%$ у апошніх шнэках большая чым у прамога за кошт вугла нахілу ўтваральнай, што адпаведна павялічвае прадукцыйнасць шнэка. Па гэтай прычыне памяншаецца прапарцыянальна і супраціўленне капанню. Эвальвентны шнэк з'яўляецца прыватным выпадкам канвалютнага, то мэтазгодна выкарыстоўваць толькі апошні, у якім магчыма рэалізаваць розныя вуглы рэзаньня для павелічэння хуткасці капання і прадукцыйнасці, што прыводзіць да павышэння яго функцыянальных магчымасцей (распрацоўкі звязных грунтаў і іх ушчынення).

Алгарытм пабудовы нахіленага гелікоіда рэалізаваны ў задачы на мове TURBO PASCAL. Графічнае адлюстраванне канвалютнага гелікоіда прыведзе на рис. 3.

Вінтавая паверхня ўтвараецца вярчальна-паступальным рухам фрагмента прасторавай крывой-утваральнай вакол вертыкальнай восі OZ. Утваральная задаецца ў вектарна-параметрычнай фармалізацыі

$11^\circ A_1^\circ$ невядома і з'яўляецца шукаемай стараной раўнабочнай трапецыі разгорткі. Па тэарэме косінусаў знаходзім невядомыя вуглы чатырохвугольніка:

$$(A_0 O_0)^2 = (A_0 A_1^\circ)^2 + (A_1^\circ O_0)^2 - 2 A_0 A_0^\circ \cdot A_0^\circ O_0 \cos A_0^\circ;$$

$$(A^\circ O^\circ)^2 = (A^\circ 11^\circ)^2 + (11^\circ O^\circ)^2 - 2 A^\circ 11^\circ \cdot 11^\circ O^\circ \cos 11^\circ$$

дзе $\cos 11^\circ$ і вугал 11° раўны $\arccos 11^\circ$.

Знаходзім вуглы $11^\circ O^\circ A^\circ$ і $A^\circ O^\circ A_1^\circ$

$$(A^\circ 11^\circ)^2 = (11^\circ O^\circ)^2 + (A^\circ O^\circ)^2 - 2 \cdot 11^\circ O^\circ \cdot A^\circ O^\circ \cos 11^\circ O^\circ A^\circ,$$

дзе $\cos 11^\circ O^\circ A^\circ = \arccos 11^\circ O^\circ A^\circ$;
 $\cos A^\circ O^\circ A_1^\circ = \arccos A^\circ O^\circ A_1^\circ$;
вугал $11^\circ O^\circ A_1^\circ$ раўняецца суме вуглоў $11^\circ O^\circ A^\circ$ і $A^\circ O^\circ A_1^\circ$.

Калі ўсе вуглы чатырохвугольніка вядомыя, знаходзім дыяганаль $A_1^\circ 11^\circ$, роўную старане трапецыі разгорткі

$$A_1^\circ 11^\circ = \sqrt{(11^\circ O^\circ)^2 + (A_0^\circ 11^\circ)^2 - 2 \cdot 11^\circ O^\circ \cdot A_0^\circ 11^\circ \cos 11^\circ O^\circ A_1^\circ}.$$

Цэнтральны вугал трохвугольніка разгорткі знаходзім з раўнабокай трапецыі $11^\circ O^\circ A_2^\circ A_1^\circ$, пасля апрадзялення рознасці старон трапецыі і вуглоў па формулах:

$$A_1^\circ A_2^\circ - 11^\circ O^\circ; \quad (11)$$

$$\sin 11^\circ S^\circ O^\circ = \frac{A_1^\circ A_2^\circ - 11^\circ O^\circ}{A_1^\circ 11^\circ}; \quad (12)$$

$$11^\circ S^\circ O^\circ = \arcsin \frac{A_1^\circ A_2^\circ - 11^\circ O^\circ}{A_1^\circ 11^\circ}. \quad (13)$$

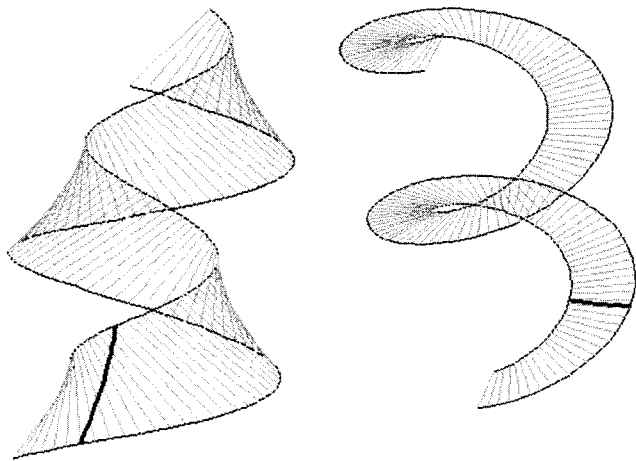


Рис. 3. Види фігур

$$\vec{f}(t) = \begin{pmatrix} f_x(t) \\ f_y(t) \\ f_z(t) \end{pmatrix}, \quad (16)$$

дзе t — свабодны параметр, які характарызуе становішча адрэзка, вобласць змянення $t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$.

Калі ўтваральная — адрэзак прамой — зададзены каар-

дынатамі сваіх канцавых кропак $\vec{a}(a_x, a_y, a_z)$ і $\vec{b}(b_x, b_y, b_z)$, то

$$\vec{f}(t) = \vec{a} + (\vec{b} - \vec{a}) \cdot t. \quad (17)$$

Прычым вобласць змянення параметра $0 \leq t \leq 1$. Так як пры $t = 0$ $\vec{f}(0) = \vec{a}$, а пры $t = 1$ $\vec{f}(1) = \vec{b}$, то можна называць кропку \vec{a} пачаткам утваральнай, а кропку \vec{b} — канцом утваральнай. Вярчальна-паступальнае перамяшчэнне ўтваральнай апісваецца двума дзеяннямі:

1) паварот утваральнай на вугал φ ($0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$) вакол восі падлічваецца памнажэннем вектара $\vec{f}(t)$ на матрыцу паварота:

$$\vec{f}_\varphi(t, \varphi) = M \cdot \vec{f}(t),$$

дзе $M = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$

2) паступальнае перамяшчэнне ўтваральнай уздоўж восі OZ, пераводзіць вектар $\vec{f}(t)$ у вектар \vec{f}_n і фармалізу-

ецца аперацыяй прыбаўлення да вектара $\vec{f}(t)$ вектара-зруху \vec{S} :

$$\vec{f}_n(t, \varphi) = \vec{f} + \vec{S}.$$

Налажэнне двух рухаў утварае паверхню $\vec{F}(t, \varphi)$ — формула (18), якая апісваецца ў вектарна-параметрычнай форме формула (19):

$$\vec{F}(t, \varphi) = M(\varphi) \cdot \vec{f}(t) + \vec{S}(\varphi); \quad (18)$$

$$\vec{F}(t, \varphi) = (F_x(t, \varphi), F_y(t, \varphi), F_z(t, \varphi)), \quad (19)$$

дзе t, φ — два свабодныя параметры.

Разгледзім алгарытм пабудовы нахіленага гелікоіда і лініі перасячэння паверхні гелікоіда плоскасцю, што

праходзіць праз яго вось (рыс. 4) пры зададзеных параметрах:

r — унутраны радыус;

R — вонкавы радыус;

b_x — праекцыя кропкі B на вось OX (гл. рыс. 26 даўжыня A'_33');

b_z — праекцыя кропкі B на вось OZ (даўжыня A''_33'').

$$\vec{a} = (r, 0, 0);$$

$$\vec{b} = (b_x, \sqrt{R^2 - b_x^2}, b_z);$$

$$\vec{a}(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ k \cdot \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos \varphi \\ r \cdot \sin \varphi \\ k \cdot \varphi \end{pmatrix};$$

$$\vec{b}(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_x \\ \sqrt{R^2 - b_x^2} \\ b_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ k \cdot \varphi \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} b_x \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \sqrt{R^2 - b_x^2} \\ b_x \cdot \sin \varphi + \cos \varphi \cdot \sqrt{R^2 - b_x^2} \\ b_z + k \cdot \varphi \end{pmatrix};$$

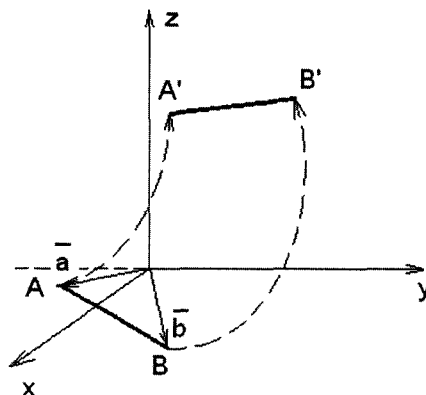
$$\vec{F}(t) = \vec{a} + (\vec{b} - \vec{a}) \cdot t;$$

$$\vec{F}(t, \varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cdot (r + (b_x - r) \cdot t) - \sin \varphi \cdot t \cdot \sqrt{R^2 - b_x^2} \\ \sin \varphi \cdot (r + (b_x - r) \cdot t) + \cos \varphi \cdot t \cdot \sqrt{R^2 - b_x^2} \\ b_z \cdot t + k \cdot \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(t, \varphi) \\ y(t, \varphi) \\ z(t, \varphi) \end{pmatrix}$$

Сячэнне пры $x = 0$:

$$\cos \varphi \cdot (r + (b_x - r) \cdot t) = \sin \varphi \cdot t \cdot \sqrt{R^2 - b_x^2}.$$

а)



б)

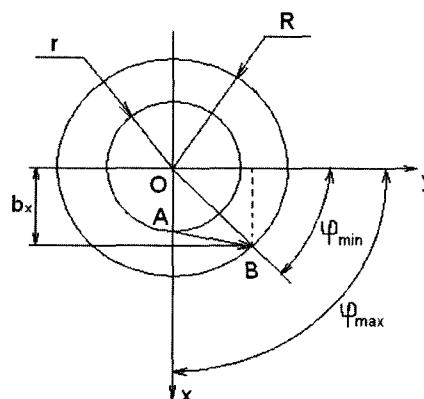


Рис. 4. Схема пабудовы шнэка:

а — пабудова шнэка;

б — схема існых параметраў

Атрымліваем значэнне параметра t :

$$t = \frac{r \cdot \cos \varphi}{\sin \varphi \cdot \sqrt{R^2 - b_x^2} - (b_x - r) \cdot \cos \varphi}.$$

Пасля знаходжання параметра t ураўненне лініі перасячэння запішацца:

$$\begin{cases} x(\varphi) = 0 \\ y(\varphi) = \sin \varphi \cdot (r + (b_x - r) \cdot t) + \cos \varphi \cdot \sqrt{R^2 - b_x^2} \cdot t. \\ z(\varphi) = b_z + k \cdot \varphi \end{cases}$$

Заўважым, што $\varphi_{\max} = \pi/2$; $\operatorname{tg}(\varphi_{\min}) = b_x / \sqrt{R^2 - b_x^2}$.

Адкуль атрымліваем гранічныя ўмовы параметра φ :

$$\operatorname{arctg} \frac{b_x}{\sqrt{R^2 - b_x^2}} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}.$$

ЗАКЛЮЧЭННЕ

- 1 Прапанавана канструкцыя шнэка, пры дапамозе якога магчыма рэалізаваць рабочы працэс на больш высокіх хуткасцях (хуткасць капання $v \leq 2$ м/с) з павышанай прадукцыйнасцю на 30 %–40 %, прычым павялічваюцца функцыянальныя магчымасці шнэка, які можа распрацоўваць і ўшчыняць нават звязныя грунты.
- 2 Пры нахіле ўтваральнай да восі шнэка пад вуглом $\delta = 60^\circ$ вугал рэзанання рабочей кромкі атрымліваецца 59° . Для павялічэння функцыянальных магчымасцей шнэка і пераўтварэння яго ў рэверсіўны канструкцыю паверхні шнэка неабходна вырабляць састаўной, якая складаецца з прамога шнэка, на паверхні якога прымацаваны з абодвух бакоў праціггла нахіленыя, хутказдымныя, зменныя элементы для капання, з вугламі рэзанання β , раўнымі 30° – 60° .

СПІС ЛІТАРАТУРЫ

1. Бубенников, А. В. Начертательная геометрия / А. В. Бубенников. — М.: Высшая школа, 1985. — 288 с.
2. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. — М.: Джангар "Большая медведица", 2001. — 863 с.
3. Гордон, В. О. Курс начертательной геометрии: учеб. пособие для вузов / В. О. Гордон, М. А. Семенов-Огневский; под ред. В. О. Гордона и Ю. Б. Иванова. — М.: Высшая школа, 2003. — 272 с.
4. Заленский, В. С. Строительные машины: примеры расчетов. Учеб. пособие для техникумов / В. С. Заленский. — М.: Стройиздат, 1983. — 271 с.
5. Кузнецов, Н. С. Начертательная геометрия / Н. С. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 1981. — 262 с.
6. Начертательная геометрия: учеб. для вузов / Н. Н. Крылов [и др]; под ред. Н. Н. Крылова. — М.: Высшая школа, 2001. — 224 с.
7. Скарабагаты, У. А. Тэарэтычнае абгрунтаванне параметраў вібрацыйна-ўшчыльняльнага рабочага органа / У. А. Скарабагаты, У. У. Яцкевіч // Вестник Белорусско-Российского ун-та. Серия "Машиностроение и металлургия". — 2006. — № 4(13). — С. 161–165.
8. Скоробогатый, В. А. Результаты исследования вибрационного шнекового оборудования / В. А. Скоробогатый // Известия Тул. гос. ун-та. Серия "Подъемно-транспортные машины и оборудование". — Вып. 7. — 2006. — С. 240–245.
9. Технические развертки изделий из листового материала / Н. Н. Высоцкая [и др]. — Л.: Машиностроение, 1968. — 271 с.
10. Яцкевич, В. В. Эффективность транспортирования материалов шнеком с вибровозбудителем / В. В. Яцкевич, В. А. Скоробогатый // Підйомно-транспортна тэхніка = Подъемно-транспортная техника = Hebezeuge und Fördermittel. — 2006. — № 1. — С. 30–34.
11. Яцкевіч, У. У. Тэхналогія распрацоўкі, размеркавання і ўшчыльнення дарожна-будаўнічых матэрыялаў вібрацыйным планіровачна-ўшчыльняным рабочым органам / У. У. Яцкевіч, У. А. Скарабагаты // Строительная наука и техника. — 2006. — № 6. — С. 77–81.

Артыкул трапіў у рэдакцыю 19.03.2010.