View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Electronic archive of Ternopil National Ivan Puluj Technical University

УДК 631.42

В. Барановський, канд. техн. наук

Національний аграрний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИКОПУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

У статті наведено математичну модель технологічної ефективності роботи адаптованого викопувально-транспортного комбінованого робочого органу, яка характеризує коефіцієнт динамічного ефекту робочого органу.

V. Baranovsky

MATHEMATICAL MODEL OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF EXCAVATION OF ROOT CROPS

The mathematical model of technological efficiency of work of the adapted excavating-transporting combined worker of organ, which characterizes the coefficient of dynamic effect of working organ, is resulted in the article.

Умовні позначення

КМ – коренезбиральна машина;
ТТС – транспортно-технологічна система;
АВТКРО- адаптований викопувально-транспортний комбінований робочий орган;

W_1 - секундна подача вороху, який викопується одним диском, кг/с;

W_2 - секундна подача вороху, який викопується одним диском у комбінації з очисним валом, кг/с;

M_1 - загальна маса вороху, який викопується одним диском, кг/с;

$k_{д.е}$ - коефіцієнт динамічного ефекту роботи АВТКРО;

$M_{\rho 1}$, M_{p1}, M_k - відповідно маса грунту, рослинних домішок і коренеплодів, які викопуються одним диском за 1с, кг/с;

$W_{\rho 2}$, W_{p2}, W_k - відповідно секундна подача грунту, рослинних домішок і коренеплодів, які викопуються одним диском у комбінації з приводним валом, кг/с;

$M_{\rho 2}$, M_{p2} - відповідно маса грунту, рослинних домішок, які викопуються одним диском у комбінації з приводним валом, кг/с;

V_ρ - об'єм грунту, який викопується одним диском за 1 с, м^3/с;

V'_ρ - об'єм канавки, яка викопується одним диском за 1 с, м^3/с;

V_{k_ρ} - об'єм підземних частин коренеплодів, які викопуються за 1 с, м^3/с;

S_ρ - площа поперечного перерізу $A_1C_1D_1$ ріжучої окрайки диска м;

$\Delta L_м$ - шлях, який проходить диск за 1 с, м/;

$V_м$ - поступальна швидкість руху КМ, м/с;

α - кут установки сферичного диска відносно осі рядка коренеплодів, град.;

$K_{в.\rho_1}$, $K_{в.\rho_2}$ - відповідно коефіцієнт, який враховує ступінь видалення грунту у першому та другому випадках роботи робочого органу за 1с;

$M_{\rho д}$, $M'_{\rho д}$ - відповідно реальна маса грунту, яка надходить із одного диска АВТКРО на наступні ТТС КМ у першому та другому випадках за 1 с, кг/с;

$\rho_{гр}$ - питома маса грунту, кг/м^3;

$\sum_{i=1}^{n} V_{k_{\rho i}}$ - сума об'ємів підземних частин коренеплодів на глибині ходу диска м^3/с;

$V_{k_\rho 1}, V_{k_\rho 2}, ..., V_{k_\rho n}$ - об'єм підземної частини одного i-го коренеплоду відповідної розмірно-масової характеристики, м^3;

$j_1, j_2, ..., j_n$ - кількість i-их коренеплодів відповідних розмірно-масових характеристик на 1 погонному метрі рядка, шт.;

h - глибина сферичного диска (м);

R_c - радіус сфери, м;

$R_д$ - радіус сферичного диска, м;

a - глибина ходу сферичного диска, м;

$\sum_{i=1}^{n} M_{ki}$, $\sum_{i=1}^{n} M_{ki_в}$ - відповідно суми мас коренеплодів, які залягають у грунті до викопування та які залишаються невикопаними, кг/с;

M_{k1}, $M_{k2}, ..., M_{kn}$ - маса одного i-го коренеплоду відповідної розмірно-масової характеристики, кг/с;

$j_{1_в}, j_{2_в}, ..., j_{n_в}$ - кількість i-их коренеплодів відповідних розмірно-масових характеристик, які не викопуються на 1 погонному метрі рядка, шт.;

ρ_k - питома маса коренеплоду, кг/м^3;

V_{k1}, $V_{k2}, ..., V_{kn}$ - об'єм одного i-го коренеплоду відповідної розмірно-масової характеристики, м^3;

$K_в$ - коефіцієнт, який характеризує ступінь втрат коренеплодів під час їх викопування у першому та другому випадках;

$V^a_{k.\rho}$ - об'єм підземної частини формалізованої просторової форми коренеплоду, м^3;

l_k - довжина тіла коренеплоду, см;

$h_{\rho.c}$, h_ρ - висота шару налиплого грунту на поверхні головки та тіла коренеплоду, см;

R_k, - радіус коренеплоду, см;

z - біжуча координата осі OZ;

$h_{\rho.k}$, $h_{\rho.n}$ - висота шару налиплого грунту на поверхні хвостової частини відповідної форми коренеплоду, см;

$r_{у.ц}$, r'_k - відповідно радіус усіченого циліндра та конуса, см;

$h_{\rho.ц}$ - висота шару налиплого грунту на поверхні тіла коренеплоду, см;

ψ - кут конуса росту коренеплоду, град.;

D_k - діаметр коренеплоду, м;

$D_д$ - діаметр сферичного диска, м;

$D_{k_1} ... D_{k_n}$, $D'_{k_1} ... D'_{k_n}$, $D_{у.ц_1} ... D_{у.ц_n}$ - відповідно діаметр головки, тіла та хвостової частини i-го коренеплоду відповідної просторової форми, см;

L_k - загальна довжина коренеплоду, см;

M_{p12}, $M_{з.г}$, $M_{в.г}$, $M_б$ - відповідно загальна маса рослинних домішок, залишків гички, втраченої і бур'янів, кг/с;

$U_г$ - урожайність гички коренеплодів, кг/м^2;

$S_з$ - площа фігури AA_1CC_1 на рівні поверхні грунту, яку утворює один сферичний диск за 1 с руху коренезбиральної машини, м^2/с;

$K_{в.р_1}$ $K_{в.р_2}$ - відповідно коефіцієнт видалення рослинних домішок.

Актуальність питання. Виробнича ефективність та основні експлуатаційні показники технологічного процесу роботи КМ при збиранні коренеплодів характеризується, у першу чергу, її функціональними показниками якості роботи та продуктивністю (пропускною здатністю) основних ТТС або спроможністю

викопування, транспортування та обробки викопаного вороху коренеплодів без "звантаження" на їх робочих поверхнях при відповідній швидкості руху КМ, тобто при надходженні до них відповідної кількості складових компонентів викопаного вороху: вільного грунту , коренеплодів із налиплим на його поверхні прищільненим грунтом, вільної гички та залишків гички на головках коренеплодів, рослинних домішок тощо.

Значна кількість вільного і налиплого грунту на поверхні коренеплодів, який викопується робочими органами та подається на наступні ТТС КМ, є основною причиною вимушеного застосування енерго- і металомістких очисників вороху [1], що вказує на однин із головних резервів удосконалення збиральних машин – інтенсифікацію процесу викопування коренеплодів із максимальним відокремленням від них ґрунтових і рослинних домішок за рахунок застосування адаптованих комбінованих робочих органів [2].

Аналіз відомих досліджень. Конструктивно-технологічні принципи застосування АВТКРО було детально проаналізовано у праці [3]. Відсутність подальших теоретичних досліджень технологічної ефективності використання АВТКРО залежно від конструктивно-кінематичних параметрів його робочих органів та умов роботи КМ зумовило проведення даних досліджень.

Мета досліджень. Метою даних досліджень є удосконалення методів оптимізації технологічних параметрів процесу викопування та конструктивно-кінематичних параметрів АВТКРО.

Результати досліджень. Першою функціональною операцією, від показників якості роботи якої залежить технологічна ефективність роботи ТТС та КМ у цілому, є операція викопування коренеплодів (рис. 1) та подальше транспортування викопаного вороху. Головними критеріями оцінки технологічної ефективності процесу викопування коренеплодів АВТКРО є загальна "секундна подача" [4] вороху W_1, який безпосередньо викопується сферичним диском 2 (рис.2) і секундна подача вороху W_2, який надходить на наступні ТТС КМ після його викопування за проміжок часу Δt = 1 с. У свою чергу, секундна подача вороху W_2 залежить від конструктивних особливостей і параметрів копачів, технологічний процес роботи яких характеризується динамічною або технологічною ефективністю[1].

Динамічну (технологічну) ефективність роботи АВТКРО охарактеризуємо як динамічний процес, який регламентований коефіцієнтом динамічного ефекту $k_{д.е}$ роботи копачів і від значення якого у значній мірі залежить ступінь зменшення загальної секундної подачі W_1 за рахунок видалення складових компонентів домішок вороху коренеплодів (грунту, рослинних залишків), яка відбувається у процесі їх взаємодії з робочими поверхнями приводного вала АВТКРО [3].

У першому випадку вважаємо, що приводний вал АВТКРО участі в технологічному процесі викопування коренеплодів не приймає. Тоді, у процесі руху КМ з поступальною робочою швидкістю $V_м$ (рис. 1) за час Δt = 1 с сферичний диск 2, глибина ходу якого a, проходить шлях $\Delta L_i = V_i \, \Delta t \cong V_i$ та вирізає у грунті канавку. Профіль канавки на рівні поверхні грунту утворений контуром фігури $ABCC_1B_1A_1A$, яка обмежена контурами складових фігур $ABCDA$ та $ADCC_1B_1A_1A$. У цих межах із врахуванням глибини ходу сферичного диска a знаходиться викопаний ним ворох, тобто грунт, коренеплоди і рослинні домішки, які в сумі складають відповідну загальну секундну подачу W_1, або адекватну загальну масу викопаного вороху M_1 за 1 с.

У другому випадку, при викопуванні коренеплодів сферичним диском 2 та одночасної взаємодії активізуючих елементів приводного вала на компоненти домішок

вороху відбувається зменшення викопаної загальної маси вороху M_1 за рахунок видалення відповідної частки домішок, яка відбувається у процесі їх взаємодії з робочими поверхнями АВТКРО [3] на стадіях викопування, руху по робочій поверхні диска та транспортуванні вороху на наступні ТТС КМ за час Δt = 1 с, тобто відповідна секундна подача вороху W_2 на наступні ТТС КМ буде становити

$$W_2 = W_1 k_{\partial.e} = M_1 k_{\partial.e}, \tag{1}$$

при цьому

$$\left.\begin{aligned} W_1 &= M_1 = M_{\rho 1} + M_k + M_{p1}; \\ W_2 &= M_2 = M_{\rho 2} + M_k + M_{p2} \\ W_2 &= k_{\partial.e}\left(W_{\rho 1} + W_k + W_{p1}\right); \\ k_{\partial.e} &= W_2 / M_{\rho 1} + M_k + M_{p1} \end{aligned}\right\}. \tag{2}$$

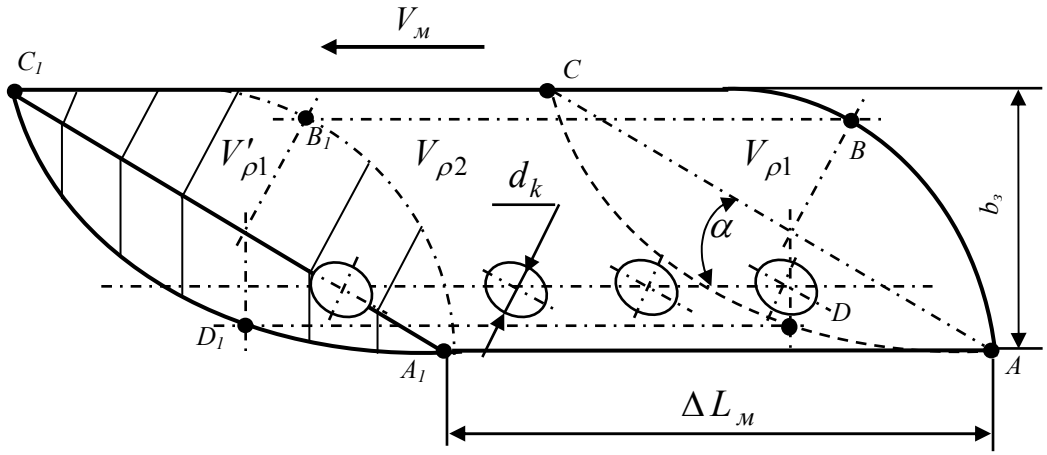

Рисунок 1 - Схема для розрахунку технологічного процесу викопування коренеплодів

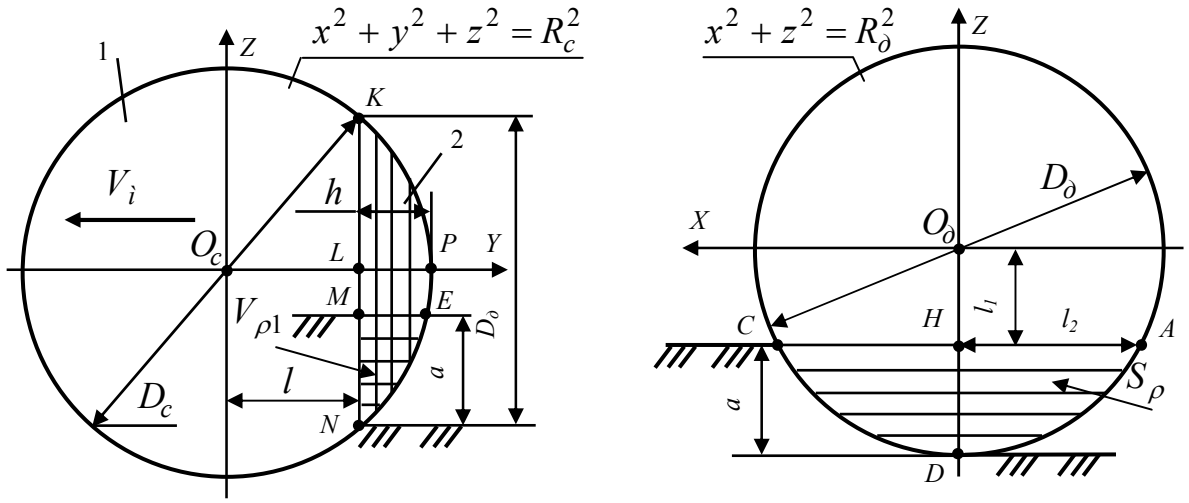

Рисунок 2 - Схема для розрахунку маси грунту M_ρ: 1 – сфера; 2 – сферичний диск

У зв'язку з тим, що секундні подачі грунту $W_{\rho 2}$, рослинних домішок W_{p2} адекватні масі грунту $M_{\rho 2}$ та масі рослинних домішок M_{p2}, які викопуються одним диском у комбінації з приводним валом за час його руху Δt = 1 с, тобто $W_{\rho 2} = M_{\rho 2}$, $W_{p2} = M_{p2}$, а $W_k = M_k$, та, враховуючи (2), коефіцієнт динамічного ефекту $k_{\partial.e}$

роботи АВТКРО у загальному випадку та у першому наближенні буде визначатися

$$k_{\text{д.е}} = \frac{M_{\rho 2} + M_k + M_{p2}}{M_{\rho 1} + M_k + M_{p1}}. \quad (3)$$

Після визначення об'єму грунту, який викопується одним диском за час 1 с $V_\rho = V'_{\rho 1} + V_{\rho 2} - V_{k_\rho} = V'_\rho - V_{k_\rho} = S_\rho \Delta L_м \sin\alpha = S_\rho V_м \sin\alpha - V_{k_\rho}$ було одержано залежність для визначення маси грунту, який реально надходить із одного диска АВТКРО на наступні ТТС КМ у першому та другому випадках

$$M_{\rho д} = \rho_{гр} K_{в.\rho_1} \sin\alpha (V_\rho - V_{k_\rho}) = \rho_{гр} K_{в.\rho_1} \sin\alpha \left(S_\rho \Delta L_м - \sum_{i=1}^{n} V_{k_\rho i} \right) = \quad (4)$$

$$= \rho_{гр} V_м K_{в.\rho_1} \sin\alpha \left[S_\rho - \left(j_1 V'_{k_a 1} + j_2 V'_{k_a 2} + ... + j_n V'_{k_a n} \right) \right];$$

$$M'_{\rho д} = \rho_{гр} V_м K_{в.\rho_2} \sin\alpha \left[S_\rho - \left(j_1 V_{k_\rho 1} + j_2 V_{k_\rho 2} + ... + j_n V_{k_\rho n} \right) \right], \quad (5)$$

при цьому

$$\begin{cases} K_{в.\rho_1} = M_{\rho д} / M_{\rho 1}; \\ K_{в.\rho_2} = M'_{\rho д} / M_{\rho 1} \end{cases}. \quad (6)$$

Згідно з [5] та рис. 2, маємо

$$S_\rho = \int_{R_д - a}^{R_д} \left(\sqrt{R_c^2 - z^2} - \sqrt{R_c^2 - R_д^2} \right) dz = 0{,}5 R_c^2 \left(\arcsin \frac{R_д}{R_c} - \arcsin \frac{R_д - a}{R_c} \right) + \quad (7)$$

$$+ 0{,}5 \left(R_д \sqrt{R_c^2 - R_д^2} - (R_д - a) \sqrt{R_c^2 - (R_д - a)^2} \right) - a \sqrt{R_c^2 - R_д^2}$$

при цьому $\int \sqrt{b^2 - z^2}\, dz = \frac{1}{2} b^2 \arcsin \frac{z}{b} + \frac{1}{2} z \sqrt{b^2 - z^2} + c$ [5].

Із врахуванням того, що $R_{ä}^2 = h(2R_c - h)$ [5] та (4), (6) і після відповідних спрощень, отримаємо

$$M_{\rho д} = \frac{0{,}125 \rho_{гр} V_м K_{в.\rho_1} \sin\alpha}{h} \left[S - 8h \left(j_1 V'_{k_\rho 1} - j_2 V'_{k_\rho 2} - ... - j_n V'_{k_\rho n} \right) \right], \quad (8)$$

де

$$S = \left(\frac{0{,}25 D_д^2}{h} + h \right)^2 \left(\begin{array}{c} \arcsin \dfrac{D_д h}{0{,}25 D_д^2 + h^2} - \\ - \arcsin \dfrac{h(D_д - 2a)}{0{,}25 D_д^2 + h^2} \end{array} \right) + (D_д - 4a) \times \quad (9)$$

$$\times \sqrt{\left(0{,}25 D_д^2 + h^2\right)^2 - h^2 D_д^2} - (D_д - 2a) \sqrt{\left(0{,}25 D_д^2 + h^2\right)^2 - (0{,}5 D_д - a)^2}$$

Підставивши значення визначених об'ємів (рис. 3) підземних частин формалізованих просторових форм коренеплодів, згідно з [5],

$$V_{k.\rho}^{a} = \pi \int_0^{h_{\rho.c}} \left(R_k^2 - z^2 \right) dz + \pi \int_0^{h_\rho} \frac{1}{k} \left(l_k^2 - z^2 \right) dz =$$

$$= \pi \left[\left(R_k^2 z - \frac{z^3}{3} \right) \Bigg|_0^{h_{\rho.c}} + \frac{1}{k} \left(l_k^2 z - \frac{z^3}{3} \right) \Bigg|_0^{h_\rho} \right] = \pi \left(R_k^2 h_{\rho.c} - \frac{h_{\rho.c}^3}{3} + \frac{2h_\rho^3}{3k} \right) \quad (10)$$

і, враховуючи (8), визначимо масу грунту, яка безпосередньо викопується одним сферичним диском АВТКРО без приводного очисного вала з одного рядка за 1 с та в кінцевому випадку реально подається на наступні ТТС КМ:

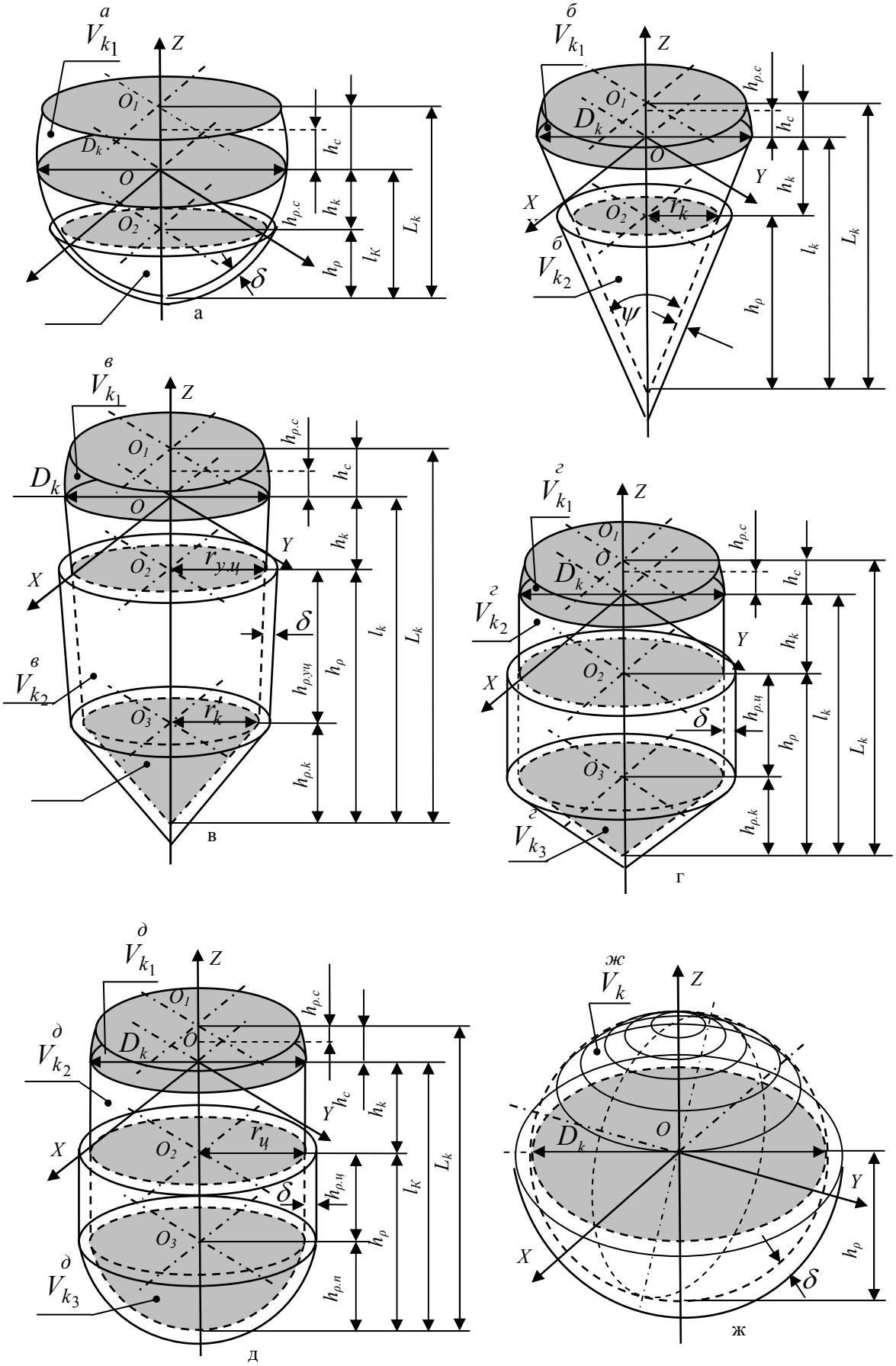

Рисунок 3 – Схеми до розрахунку масових параметрів коренеплодів

- при викопуванні коренеплодів, які мають формалізовану просторову форму згідно з рис. 3 а

$$M_{\rho\partial}^{а}=\frac{0{,}125\rho_{гр}V_{м}K_{в.\rho_1}\sin\alpha}{h}\left[S-8\pi h\left[\begin{array}{l} j_1\left(0{,}25D_{k_1}^2h_{\rho.c_1}-\dfrac{kh_{\rho.c_1}^3-2h_{\rho_1}^3}{3k}\right)- \\ -j_2\left(0{,}25D_{k_2}^2h_{\rho.c_2}-\dfrac{kh_{\rho.c_2}^3-2h_{\rho_2}^3}{3k}\right)- \\ -\ldots-j_n\left(0{,}25D_{k_n}^2h_{\rho.c_n}-\dfrac{kh_{\rho.c_n}^3-2h_{\rho_n}^3}{3k}\right)\end{array}\right]\right];\quad (11)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають формалізовану просторову форму згідно з рис. 3 б

$$M_{\rho\partial}^{б}=\frac{0{,}125\rho_{гр}V_{м}K_{в.\rho_1}\sin\alpha}{h}\left[S-\frac{8\pi h}{3}\left[\begin{array}{l} 0{,}25j_1D_{k_1}^2\left(3h_{\rho.c_1}+h_{\rho1}\right)-j_1h_{\rho.c_1}^3- \\ -0{,}25j_2D_{k_2}^2\left(3h_{\rho.c_2}+h_{\rho_2}\right)-j_2h_{\rho.c_2}^3- \\ -\ldots-0{,}25j_nD_{k_n}^2\left(3h_{\rho.c_n}+h_{\rho_n}\right)-j_nh_{\rho.c_n}^3\end{array}\right]\right];\quad (12)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають формалізовану просторову форму згідно з рис. 3 в

$$M_{\rho\partial}^{в}=\frac{0{,}125\rho_{гр}V_{м}K_{в.\rho_1}\sin\alpha}{h}\left[S-\frac{8\pi h}{3}\left[\begin{array}{l} j_1h_{\rho.c_1}\left(0{,}75D_{k_1}^2-h_{\rho.c_1}^2\right)+0{,}25j_1\times \\ \times\left[D_{k_1}'^2h_{\rho_1}+h_{\rho.yu_1}\left(D_{y.u_1}^2+D_{y.u_1}D_{k_1}'\right)\right]- \\ -j_2h_{\rho.c_2}\left(0{,}75D_{k_1}^2-h_{\rho.c_2}^2\right)+0{,}25j_2\times \\ \times\left[D_{k_2}'^2h_{\rho_2}+h_{\rho.yu_2}\left(D_{y.u_2}^2+D_{y.u_2}D_{k_2}'\right)\right]+\ldots+ \\ +j_nh_{\rho.c_n}\left(0{,}75D_{k_n}^2-h_{\rho.c_n}^2\right)+0{,}25j_n\times \\ \times\left[D_{k_n}'^2h_{\rho_n}+h_{\rho.yu_n}\left(D_{y.u_n}^2+D_{y.u_n}D_{k_n}'\right)\right]\end{array}\right]\right];\quad (13)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають формалізовану просторову форму згідно з рис. 3 г

$$M_{\rho\partial}^{г}=\frac{0{,}125\rho_{гр}V_{м}K_{в.\rho_1}\sin\alpha}{h}\left[S-\frac{8\pi h}{3}\left[\begin{array}{l} j_1h_{\rho.c_1}\left(0{,}75D_{k_1}^2-h_{\rho.c_1}^2\right)+0{,}25j_1D_{k_1}^2\times \\ \times\left(3h_{\rho_1}-2h_{\rho.k_1}\right)+j_2h_{\rho.c_2}\left(0{,}75D_{k2}^2-h_{\rho.c_2}^2\right)+ \\ +0{,}25j_2D_{k_2}^2\left(3h_{\rho2}-2h_{\rho.k_2}\right)+\ldots+j_nh_{\rho.c_n}\times \\ \times\left(0{,}75D_{k_n}^2-h_{\rho.c_n}^2\right)+0{,}25j_nD_{k_n}^2\left(3h_{\rho_n}-2h_{\rho.k_n}\right)\end{array}\right]\right];\quad (14)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають формалізовану просторову форму згідно з рис. 3 ж

$$\overset{ж}{M}_{\rho\partial} = \frac{0{,}125\rho_{гр}V_{м}K_{в.\rho_1}\sin\alpha}{h}\left[S - \frac{8\pi h}{3}\left[\begin{array}{l} j_1 h_{\rho_1}^2\left(0{,}15D_{k_1}^2 - h_{\rho_1}\right)+ \\ + j_1 h_{\rho_1}^2\left(0{,}15D_{k_1}^2 - h_{\rho_1}\right)+ \\ + \ldots + j_1 h_{\rho_1}^2\left(0{,}15D_{k_1}^2 - h_{\rho_1}\right) \end{array}\right]\right]; \quad (15)$$

- при викопуванні коренеплодів, які мають формалізовану просторову форму згідно з рис. 3 д

$$\overset{\partial}{M}_{\rho\partial} = \frac{0{,}125\rho_{гр}V_{м}K_{в.\rho_1}\sin\alpha}{h}\left[\mathrm{S} - \frac{8\pi h}{3}\left[\begin{array}{l} 0{,}75\mathrm{j}_1 D_{k_1}^2\left(h_{\rho.c_1} + h_{\rho_1} - h_{\rho.n_1}\right)- \\ - j_1\left(h_{\rho.c_1}^3 - 2h_{\rho.n_1}^3\right)+0{,}75\mathrm{j}_1 D_{k_1}^2 \times \\ \times\left(h_{\rho.c_1} + h_{\rho_1} - h_{\rho.n_1}\right) - j_1\left(h_{\rho.c_1}^3 - 2h_{\rho.n_1}^3\right)+ \\ +\ldots+0{,}75\mathrm{j}_1 D_{k_1}^2 \times\left(h_{\rho.c_1} + h_{\rho_1} - h_{\rho.n_1}\right)- \\ - j_1\left(h_{\rho.c_1}^3 - 2h_{\rho.n_1}^3\right) \end{array}\right]\right]. \quad (16)$$

Маса коренеплодів $\overset{i}{M}_k$, які викопуються одним диском за 1 с, у першому та другому випадках дорівнює різниці сум мас i-их коренеплодів, які залягають у грунті до викопування, та мас i-их коренеплодів, які залишаються невикопаними ними, тобто втрачаються під час викопування АВТКРО, при цьому вважаємо, що втрати частин коренеплодів під час доочищення залишків гички відсутні, тобто

$$\overset{i}{M}_k = \sum_{i=1}^{n} M_{ki} - \sum_{i=1}^{n} M_{ki_в} = \rho_k V_м\left[\begin{array}{l} \left(j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \ldots + j_n V_{kn}\right)- \\ - \left(j_{1_в} V_{k1} + j_{2_в} V_{k2} + \ldots + j_{n_в} V_{kn}\right) \end{array}\right]. \quad (17)$$

Із іншого боку, сума мас i-их коренеплодів $\sum_{i=1}^{n} M_{ki_в}$, які залишаються невикопаними згідно з агротехнічними вимогами до технологічного процесу збирання коренеплодів, вважаються втратами [4]. Для врахування втрат коренеплодів під час викопування сферичним диском введемо коефіцієнт втрат, який позначимо через $K_в$.

Тоді з врахуванням (17) маємо

$$\overset{i}{M}_k = K_в\sum_{i=1}^{n} M_{ki} = \rho_k V_м K_в\left(j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \ldots + j_n V_{kn}\right). \quad (18)$$

Згідно (18), залежність для визначення маси відповідних формалізованих просторових форм коренеплодів (рис. 3), які викопуються одним сферичним диском АВТКРО КМ у першому та другому випадках за 1 с, має вигляд

$$\overset{a}{M}_k = \frac{\pi}{3}\rho_k V_м K_в\left[\begin{array}{l} j_1 h_{c_1}\left(0{,}75D_{k_1}^2 - h_{c_1}^2\right)+ j_1\dfrac{2(L_{k_1} - h_{c_1})^3}{k}+ \\ + j_2 h_{c_2}\left(0{,}75D_{k_2}^2 - h_{c_2}^2\right)+ j_2\dfrac{2(L_{k_2} - h_{c_2})^3}{k}+\ldots+ \\ + j_n h_{c_n}\left(0{,}75D_{k_n}^2 - h_{c_n}^2\right)+ j_n\dfrac{2(L_{k_n} - h_{c_n})^3}{k} \end{array}\right]; \quad (19)$$

$$\overset{б}{M}_k = \frac{\pi}{3}\rho_k V_м K_в \begin{bmatrix} j_1 h_{c_1}\left(0{,}5D_{k_1}^2 - h_{c_1}^2\right) + j_1 0{,}25 D_{k_1}^2 L_{k_1} + \\ + j_2 h_{c_2}\left(0{,}5D_{k_2}^2 - h_{c_2}^2\right) + j_2 0{,}25 D_{k_2}^2 L_{k_2} + \ldots + \\ + j_n h_{c_n}\left(0{,}5D_{k_n}^2 - h_{c_n}^2\right) + j_n 0{,}25 D_{k_n}^2 L_{k_n} \end{bmatrix}; \quad (20)$$

$$\overset{в}{M}_k = \frac{\pi}{3}\rho_k V_м K_в \begin{bmatrix} j_1 h_{c_1}\left(0{,}75D_{k_1}^2 - h_{c_1}^2\right) + 0{,}25 j_1\left(L_{k_1} - h_{c_1} - h_{\rho.k_1}\right)\times \\ \times\left(D_{k_1}^2 + D_{k_1}'^2 + D_{k_1} D_{k_1}'\right) + j_1 0{,}25 D_{k_1}'^2 h_{\rho.k_1} + j_2 h_{c_2}\left(0{,}75D_{k_2}^2 - h_{c_2}^2\right) + \\ + 0{,}25 j_2\left(L_{k_2} - h_{c_2} - h_{\rho.k_2}\right)\left(D_{k_2}^2 + D_{k_2}'^2 + D_{k_2} D_{k_2}'\right) + \\ + 0{,}25 j_2 D_{k_2}'^2 h_{\rho.k_2} + \ldots + j_n h_{c_n}\left(0{,}75D_{k_n}^2 - h_{c_n}^2\right) + \\ + 0{,}25 j_n\left(L_{k_n} - h_{c_n} - h_{\rho.k_n}\right)\times \\ \times\left(D_{k_n}^2 + D_{k_n}'^2 + D_{k_n} D_{k_n}'\right) + 0{,}25 j_n D_{k_n}'^2 h_{\rho.k_n} \end{bmatrix}; \quad (21)$$

$$\overset{г}{M}_k = \frac{\pi}{3}\rho_k V_м K_в \begin{bmatrix} 0{,}25\, j_1 D_{k_1}^2\left(3L_{k_1} - 2h_{\rho.k_1}\right) - j_1 h_{c_1}^3 + \\ + 0{,}25\, j_2 D_{k_2}^2\left(3L_{k_2} - 2h_{\rho.k_2}\right) - j_2 h_{c_2}^3 + \ldots + \\ + 0{,}25\, j_n D_{k_n}^2\left(3L_{k_n} - 2h_{\rho.k_n}\right) - j_n h_{c_n}^3 \end{bmatrix}; \quad (22)$$

$$\overset{д}{M}_k = \frac{\pi}{3}\rho_k V_м K_в \begin{bmatrix} 0{,}75 j_1 D_{k_1}^2\left(L_{k_1} - h_{\rho.n_1}\right) - j_1\left(h_{c_1}^3 + 2h_{\rho.n_1}^3\right) + 0{,}75 j_2 D_{k_2}^2 \times \\ \times\left(L_{k_2} - h_{\rho.n_2}\right) - j_2\left(h_{c_2}^3 + 2h_{\rho.n_2}^3\right) + \ldots + 0{,}75 j_n D_{k_n}^2 \times \\ \times\left(L_{k_n} - h_{\rho.n_n}\right) - j_n\left(h_{c_n}^3 + 2h_{\rho.n_n}^3\right) \end{bmatrix}; \quad (23)$$

$$\overset{ж}{M}_k = \frac{\pi}{6}\rho_k V_м K_в\left(j_1 D_{k_1}^3 + j_2 D_{k_2}^3 + \ldots + j_n D_{k_n}^3\right). \quad (24)$$

Загальна маса рослинних домішок M_{p12}, яка викопується сферичними дисками за одиницю часу, складається з маси залишків гички $M_{з.г}$ (кг/с) на головках коренеплодів, які залишилися після проходу гичкозбиральної машини, маси гички $M_г$ (кг/с), яка була втрачена у процесі її зрізування робочими органами гичкозбиральної машини та маси бур'янів $M_б$ (кг/с), які знаходяться у межах канавок, утворених поступальним рухом сферичних дисків, тобто

$$M_{p12} = M_{з.г} + M_г + M_б. \quad (25)$$

Маса залишків гички $M_{з.г}$ і маса втраченої гички $M_г$ залежать від урожайності і сорту коренеплодів та якості роботи гичкозбиральної машини. Згідно з вихідними вимогами, довжина залишків гички на головках відповідних культур i-их коренеплодів не повинна бути більшою за встановлене значення $\overset{i}{h}_{з.г}$ (см), або загальна питома маса залишків гички на головках коренеплодів, які знаходяться на площі 1 м^2, не повинна перевищувати значення $\overset{i}{\mu}$ (%) від урожайності гички. Питома маса

втраченої гички на площі 1 м^2 не повинна перевищувати $\overset{i}{\eta}$ (%) від урожайності гички. Згідно з вихідними вимогами до технологічного процесу роботи гичкозбиральних машин на даному етапі, питома маса бур'янів не повинна перевищувати $\overset{i}{\lambda}$ (кг/м^2).

Для подальших розрахунків приймаємо максимальні значення вказаних величин, тоді відповідні маси залишків гички $M_{з.г}$, втраченої гички $M_г$ і маси бур'янів, які викопуються сферичними дисками за одиницю часу в першому випадку, визначаються

$$\overset{i}{M}_{з.г} = \overset{i}{\mu} U_г S_з; \qquad \overset{i}{M}_г = \overset{i}{\eta} U_г S_з; \qquad \overset{i}{M}_б = \overset{i}{\lambda} S_з, \tag{26}$$

де $U_г$ - урожайність гички коренеплодів, кг/м^2;

$S_з$ - площа фігури AA_1CC_1 на рівні поверхні грунту, яку утворює один сферичний диск за одиницю часу руху коренезбиральної машини, м^2/с.

Згідно з рис. 1 та (26), отримаємо залежність для визначення загальної маси рослинних домішок $M_{д12}$, які надходять на наступні ТТС КМ після викопування вороху коренеплодів сферичним диском за 1 с у першому та другому випадках

$$M_{p1} = 2V_м K_{в.p_1} \sin\alpha \sqrt{a(D_д - a)} \left[U_г \left(\overset{i}{\mu} + \overset{i}{\eta} \right) + \overset{i}{\lambda} \right]; \tag{27}$$

$$M_{p2} = 2V_м K_{в.p_2} \sin\alpha \sqrt{a(D_д - a)} \left[U_г \left(\overset{i}{\mu} + \overset{i}{\eta} \right) + \overset{i}{\lambda} \right]. \tag{28}$$

Таким чином, згідно з рівняннями (3), (6), (11-16), (19-24), (27) і (28), одержимо математичну модель технологічної ефективності роботи АВТКРО, яка характеризується коефіцієнтом динамічного ефекту $k_{д.е}$ роботи АВТКРО

$$k_{д.е} = V_м \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{0{,}125\rho_{гр} K_{в.р2} \sin\alpha}{h} \left[S - 8h \left(j_1 V'_{k\rho 1} - j_2 V'_{k\rho 2} - \ldots - j_n V'_{k\rho n} \right) \right] + \\ + \rho_k K_в \left(j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \ldots + j_n V_{kn} \right) + \\ + 2K_{в.p2} \sin\alpha \sqrt{a(D_д - a)} \left[U_г \left(\overset{i}{\mu} + \overset{i}{\eta} \right) + \overset{i}{\lambda} \right] / \\ / \dfrac{0{,}125\rho_{гр} K_{в.р1} \sin\alpha}{h} \left[S - 8h \left(j_1 V'_{k\rho 1} - j_2 V'_{k\rho 2} - \ldots - j_n V'_{k\rho n} \right) \right] + \\ + \rho_k K_в \left(j_1 V_{k1} + j_2 V_{k2} + \ldots + j_n V_{kn} \right) + \\ + 2K_{в.p1} \sin\alpha \sqrt{a(D_д - a)} \left[U_г \left(\overset{i}{\mu} + \overset{i}{\eta} \right) + \overset{i}{\lambda} \right] \end{array} \right\}, \tag{29}$$

або в загальному випадку

$$\mathrm{k}_{д.е} = \frac{\overset{i}{M}_\rho K_{в.\rho 2} + \mathrm{M}_\mathrm{k} \overset{i}{K}_в + \overset{i}{M}_p K_{в.p2}}{\overset{i}{M}_\rho K_{в.\rho 1} + \mathrm{M}_\mathrm{k} \overset{i}{K}_в + \overset{i}{M}_p K_{в.p1}}. \tag{30}$$

Висновки. Таким чином, наведені математичні моделі (29), (30) характеризують взаємозв'язок технологічної ефективності роботи АВТКРО або коефіцієнта динамічного ефекту роботи АВТКРО залежно від конструктивно-кінематичних параметрів робочого органу та умов роботи коренезбиральної машини.

Література

1. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорелый, М.В. Татьянко. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
2. Барановський В.М., Паньків М.Р. Конструктивно-технологічні принципи адаптованого застосування коренезбиральних машин // Зб. наук. праць 1-ої міжн. наук.-практ. конф. "Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин". - ТДТУ, 2004. – С. 192-198.
3. Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральної машини // Науковий вісник НАУ. Зб. наук. праць, випуск 73, частина 1. - 2004. – С. 249-255.
4. Булгаков В.М., Лінник М.К., Гурченко О.П. Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків // Зб. наук. праць Національного аграрного університету „Механізація сільськогосподарського виробництва". Том VI. „Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин". - Київ: НАУ, 1999. - С.220.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 706 с.

Одержано 27.03.2007 р.

УДК 631.439.21

В. Онопа; М. Петренко , канд. техн. наук;
О. Кислун, канд. техн. наук; Д. Богатирьов, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЛОВЛЮВАННЯ ШКІДНИКІВ

Стаття присвячена проблемам ефективного уловлювання шкідників пневматичними насадками. Наведено дослідження, які дозволяють теоретично визначити ефективність уловлювання шкідників щілинами пневматичних насадок з урахуванням особливостей руху.

V. Onopa, M. Petrenko, O Kyslun, D. Bogatyrev

DETERMINATION OF EFFICIENCY OF CATCHING OF WRECKERS

The article is devoted the problems of the effective catching of wreckers pneumatic attachments. Researches which allow in theory to define efficiency of catching of wreckers the cracks of pneumatic attachments taking into account the features of his motion are resulted.

Основним параметром роботи пневматичної насадки є ефективність уловлювання шкідників з поверхні листя пасльонових культур. Однією з суттєвих проблем, щодо його уловлювання є реакція шкідника на небезпеку – скручування у кільце і скочування з листя (для личинок колорадського жука) або зіскакування з поверхні листя на ґрунт (для дорослого жука) [1]. Врахування цієї проблеми актуально тому, що основною задачею роботи пневматичної насадки і пневмодезинсектора в цілому є уловлювання як можна більшої кількості шкідників з поверхні рослин. Так як пневматична насадка встановлюється на висоту h_0 від поверхні поля, а форма та розташування щілин не дозволяють всмоктувати шкідників з ґрунту [3, 4], тому, проаналізувавши біонічні особливості поведінки колорадського жука [1] під час виникнення небезпеки (спроби