

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА**

**Актуальність питання.** В теперішній час, у зв'язку з підвищенням об'ємів земляних робіт, збільшились і об'єми виробництва машин та різноманітного робочого обладнання для цих робіт. Одним із головних напрямів удосконалення будівельних гідравлічних екскаваторів є збільшення продуктивності, зниження енерговитрат на розробку ґрунту, підвищення надійності та довговічності, розширення технологічних можливостей за рахунок можливості змінювати лінійні розміри робочого обладнання тощо [1, 2, 3, 11, 12, 13, 14]. Розширення технологічних можливостей також пов'язано із збільшенням повороту стріли, рукояті і ковша, розширенням номенклатури змінних робочих органів і змінного робочого обладнання.

В традиційних конструкціях робочого обладнання змінення лінійних параметрів екскаватора досягається за рахунок застосування змінного робочого обладнання (наприклад, змінної рукоятки більшої довжини), але це має деякі недоліки: трудомісткість заміни одного робочого органу іншим, ступінчаста зміна геометричних параметрів при заміні робочого обладнання [2, 3, 4, 5, 6].

**Мета статті.** Формування методики оцінки ефективності одноківшевого екскаватора з телескопічним робочим обладнанням, визначення об'єму копання ґрунту та його продуктивності на прикладі екскаваторів з телескопічною рукояттю та телескопічними стрілою і рукояттю у порівнянні з екскаватором з традиційним робочим обладнанням (рис. 1).

**Основний матеріал.** Продуктивність – один з головних критеріїв ефективності одноківшевих екскаваторів та одна з головних початкових величин загального розрахунку цих машин [7].

Розрахунки продуктивності та встановлення робочих розмірів екскаваторів при їх проектуванні безпосередньо пов'язані з об'ємом розроблюваного ґрунту. Окреслення поверхні ґрунтового масиву визначається робочими траєкторіями ковша. Вони змінюються по мірі виїмки ґрунту, але для характеристики форми та розмірів забою достатньо зафіксувати кінцеві траєкторії, обмежуючі об'єм ґрунту, розроблюваного з однієї стоянки екскаватора.

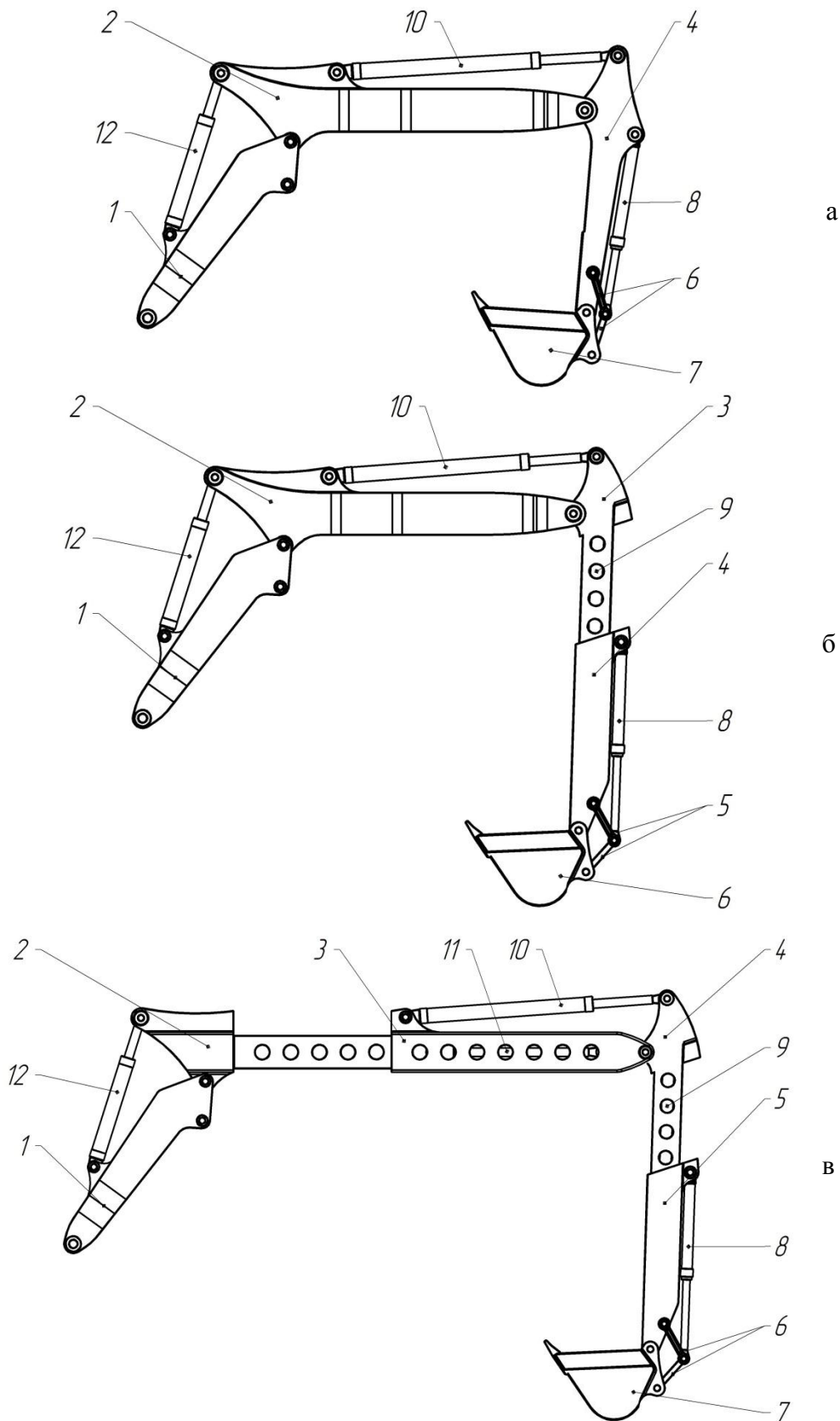


Рис. 1. Робоче обладнання екскаватора: а – традиційне робоче обладнання; б – робоче обладнання екскаватора з телескопічною рукояттю; в – робоче обладнання екскаватора з телескопічними стрілою та рукояттю; 1 – нижня частина стріли; 2 – верхня частина стріли; 3 – телескопічна секція стріли; 4 – рукоять; 5 – телескопічна секція рукояті; 6 – чотириланковий механізм; 7 – ківш; 8, 9, 10, 11, 12 – гідроциліндри.

Так як екскаватори – поворотні машини, виїмка ґрунту відбувається по радіальним напрямках, а поверхня розробленого масиву має вигляд поверхні обертання. Загальна параметрична схема зображена на рисунку 2.

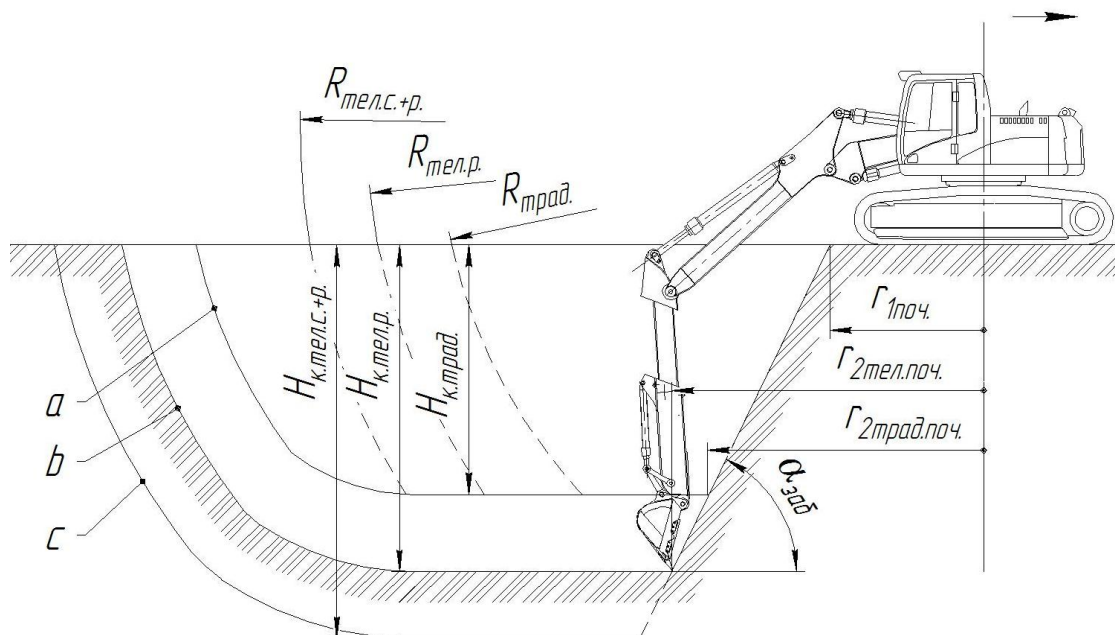


Рис.2. Загальна параметрична схема для визначення об'єму копання ґрунту: *a* – траєкторія копання при традиційній конструкції робочого обладнання; *b* – те саме, при виштовхнутому телескопі рукояті або стрілі; *c* – те саме, при виштовхнутих телескопах стріли та рукояті;  $R_{\text{тел.с.р.}}$ ,  $R_{\text{тел.р.}}$ ,  $R_{\text{трад.}}$  – максимальні радіуси копання традиційним РО та РО з телескопічними рукояттю або стрілою, стрілою та рукояттю, відповідно;  $\alpha_{\text{заб.}}$  – кут ухилу забою.

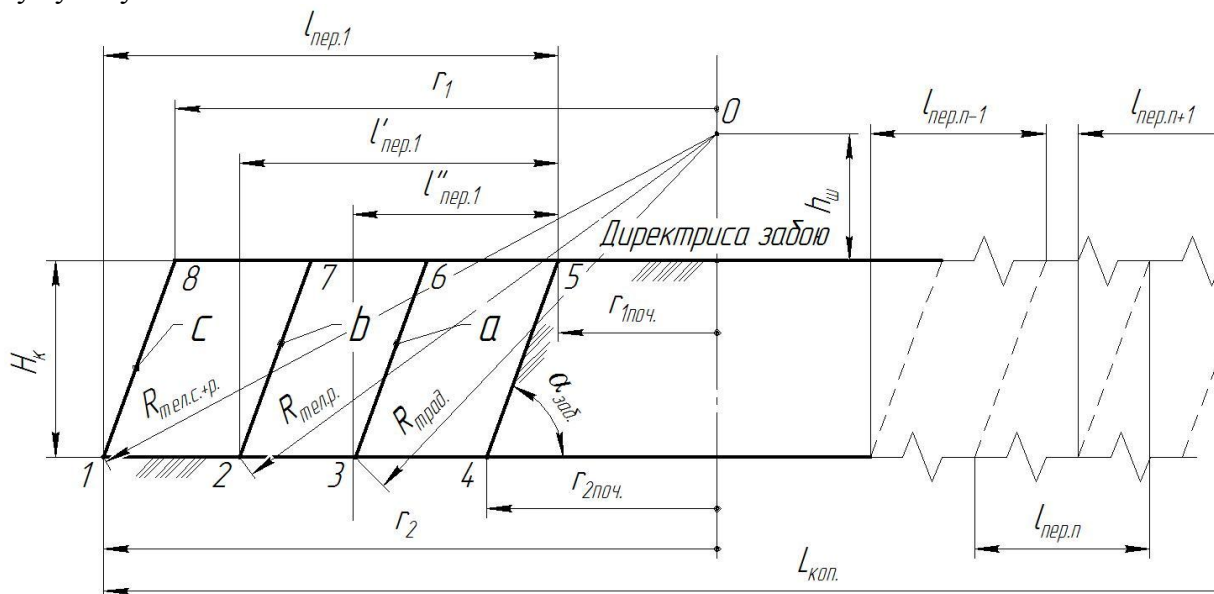


Рис. 3. Параметрична схема для визначення об'єму копання ґрунту телескопічними РО та традиційним РО при заданій глибині копання  $H_k$ : *a*, *b*, *c* – траєкторії копання традиційним робочим обладнанням та з телескопічними рукояттю, стрілою та рукояттю, відповідно;  $l_{\text{пер.1}}$ ,  $l_{\text{пер.n-1}}$ ,  $l_{\text{пер.n}}$ ,  $l_{\text{пер.n+1}}$  – перша та наступні відстані переміщення екскаватора з телескопічним РО, відповідно;  $l'_{\text{пер.1}}$  – відстань переміщення екскаватора з телескопічною рукояттю;  $l''_{\text{пер.1}}$  – відстань переміщення екскаватора з традиційним РО;  $h_{\text{ш}}$  – відстань від площини стоянки екскаватора (директриси забою) до шарніру кріплення стріли.

Таким чином, елемент забою представляє собою оболонку усіченого конуса, товщина якої дорівнює відстані переміщення екскаватора  $l_{пер.}$ , тоді формула для визначення теоретичного  $i$ -го об'єму розроблюваного ґрунту з однієї стоянки екскаватора має вигляд:

$$V_{теор.і} = \beta \left[ \frac{H_k}{6\pi} ((r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) - (r_{2поч.}^2 + r_{1поч.} r_{2поч.} + r_{2поч.}^2)) \right],$$

де  $\beta$  – кут повороту екскаватора від осі руху (рад.),  $H_k$  – задана глибина копання,  $r_1, r_2$  – радіуси роботи у площині стоянки екскаватора та на дні забою, відповідно,  $r_{1поч.}, r_{2поч.}$  – початкові роботи копання у площині стоянки екскаватора та на дні забою, відповідно (рис.3).

Кут  $\beta$  залежить від ширини проходки  $B$ , яку визначають залежності від найбільшого радіусу копання зворотної лопати  $R$ , та глибини виїмки  $H_k$ ; при розробці ґрунту з вантаженням у транспортний засіб її приймають:  $B=(1,2...1,3)R$ , а при відсіпці у відвал –  $B=(0,5...0,8)R$ . При односторонній подачі транспортних засобів вісь шляху екскаватора зміщують в їх сторону, а ширина лобової проходки складає  $B=1,3R$ , при двосторонній подачі –  $B=(1,6...1,7)R$ , [8].

Радіуси роботи робочого обладнання у площині стоянки екскаватора та на дні забою дорівнюють:

$$\begin{aligned} r_{1поч.} &= h_{ш} \tan(90^\circ - \alpha_{заб}) + \left(\frac{1}{2}B + 1M\right); \\ r_{2поч.} &= (H_k + h_{ш}) \tan(90^\circ - \alpha_{заб}) + \left(\frac{1}{2}B + 1M\right); \\ r_2 &= \sqrt{R^2 - (H_k + h_{ш})^2}; \\ r_1 &= r_2 - r_{2поч.} + r_{1поч.}; \\ l_{пер.} &= r_2 - r_{1поч.} \rightarrow \max, \end{aligned}$$

де  $B$  – база екскаватора,  $1M$  – мінімальна відстань від опор екскаватора до верхньої бровки відкосу виїмки при умові дотримання допустимого кута відкосу забою  $\alpha_{заб} = 38^\circ \dots 90^\circ$ , в залежності від типу ґрунту [8].

Зменшення кількості переміщень  $n$  екскаватора досягається за рахунок збільшення довжини одного переміщення  $l_{пер.}$ , що досягається за рахунок збільшення лінійних розмірів робочого обладнання екскаватора та максимального радіусу копання ( $R \rightarrow \max$ ), в традиційних конструкціях, наприклад, використовують змінні рукояті більшої довжини або використанням телескопічного робочого обладнання. На рисунку 3 площа поперечного перетину елемента забою традиційного РО позначена точками 2, 3, 4, 5, а площа поперечного перетину елемента забою телескопічного РО позначена точками 1, 3, 4, 6.

Об'єм розроблюваного ґрунту в забої дорівнюватиме:

$$V_{заб.} = V_{mex.1} + V_{mex.2} + V_{mex.3} + \dots + V_{mex.i-1} + V_{mex.i} + V_{mex.i+1},$$

$$V_{заб.} = \sum_1^n V_{mex.i}.$$

Щоб розробити однокішшеvim екскаватором порцію ґрунту, необхідно виконати у визначеній послідовності комплекс технологічних операцій: відділення від масиву та захват ґрунту, переміщення ґрунту в межах дії ковша, вантаження ґрунту в транспортний засіб або укладання у відвал чи земляну споруду.

Зазвичай в розрахунках продуктивності однокішшевих екскаваторів час робочого циклу визначається чотирма інтервалами:

підймання ковша з поворотом рукояті для відділення від масиву та захват ґрунту (копання) –  $t_{кон}$ ;

поворот платформи при вантаженому ковші та установка її в напрямі розвантаження ковша –  $t_{н.в.}$ ;

утримання ковша над місцем розвантаження –  $t_{роз.}$ ;

зворотний поворот та встановлення платформи в напрямі наступного копання з одночасним опусканням ковша –  $t_{н.н.}$

Тоді час робочого циклу визначається за формулою:

$$t_{ц} = t_{кон} + t_{н.в.} + t_{роз.} + t_{н.н.}$$

В реальних умовах виробництва земляних робіт, окрім названих технологічних операцій необхідно виконувати додаткові операції – позациклові операції, такі як власні переміщення екскаватора на нову стоянку після розробки забою в межах дії ковша.

Експлуатаційна продуктивність екскаватора для розробки ґрунту з однієї стоянки визначається за формулою при одній позацикловій операції (наприклад, переміщення екскаватора на нове місце стоянки):

$$P_{експ.1} = \frac{V_{mex.i}}{T_1} = \frac{q_z m_1}{t_{ц} m_1 + t_{нц.о.}} = \frac{q_z}{t_{ц} + \frac{t_{нц.о.1}}{m_1}},$$

де  $T_1$  – період часу при одній позацикловій операції;  $t_{нц.о.1}$  – час позациклової операції ( $t_{нц.о.1} = t_{пер}$ ),

$$T_i = t_{нц.о.i} + \sum_1^{m_1} t_{ц}; T' = \sum_1^n T_i,$$

де  $m_1$  – кількість робочих циклів в періоді позациклової операції,  $t_{пер}$  – час на переміщення екскаватора;  $T'$  – загальний час роботи екскаватора за  $n$  періодів позациклової операції.

$$m_1 = \frac{V_{mex.i}}{q_z}; q_z = q \frac{k_{нан.}}{k_{роз.}}$$

де  $q_z$  – середній об’єм ґрунту в щільному тілі в ковші екскаватора,  $q$  – геометрична місткість ковша,  $k_{нап.}$ ,  $k_{роз.}$  – коефіцієнти наповнення та розпушення ґрунту, відповідно.

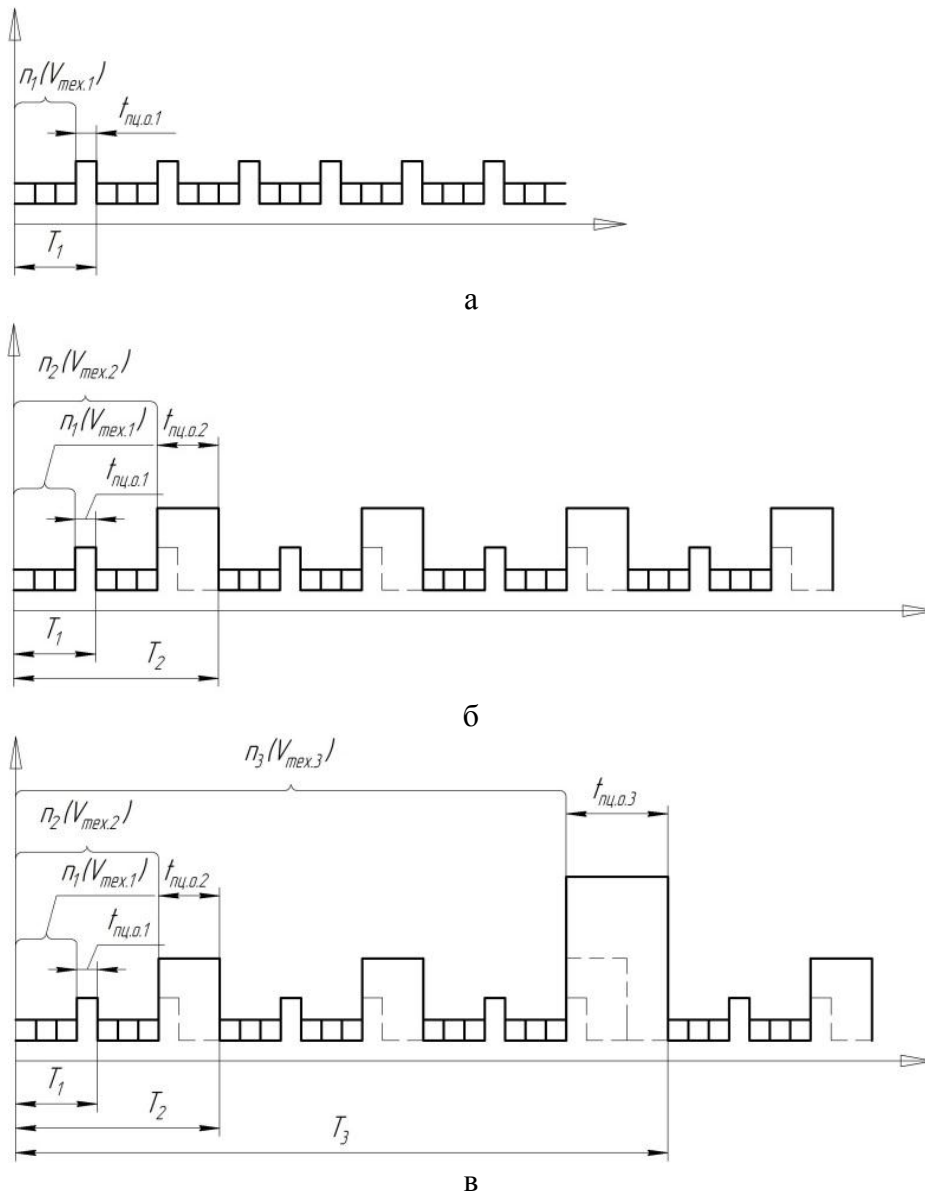


Рис. 4. Схема робочого процесу одноківшевого екскаватора при періодичних позациклових операціях: а – при одній; б – при двох; в – при трьох.

Якщо робочий процес відбувається з двома та більше різноманітними операціями, які характеризуються відповідними значеннями  $n$ ,  $T$  та  $t_{ци.о.i}$ :

$$P_{експ.i} = \frac{V_{mex.i}}{T_i} = \frac{q_z}{t_{cy} + \frac{t_{ци.о.1}}{m_1} + \frac{t_{ци.о.2} - t_{ци.о.1}}{m_2} + \dots + \frac{t_{ци.о.i} - t_{ци.о.i-1}}{m_i}};$$

$$P_{експ.} = \frac{V_{mex.}}{T} = \frac{\sum_1^n V_{mex.i}}{\sum_1^n (\sum_1^{m_1} t_{cy} + t_{ци.о.})}$$

Для оцінки ефективності та експлуатаційних властивостей землерийних машин та комплексів запропоновано ряд показників різноманітного призначення. Аналіз

показника  $N/G$  ( $N$  – потужність машини та  $G$  – маса машини) показує, що без чітких обмежень в методиці неможливо отримати однозначне рішення. Аналіз питомих показників енергоємності  $N_{y\delta} = N/\Pi$  та матеріалоємності  $G_{y\delta} = G/\Pi$  ( $\Pi$  – продуктивність) дозволяє зробити більш визначений висновок. Кращому об’єкту відповідає менша кожної з двох величин. Для визначення ефективності використання машини по ступеню економії матеріальних, енергетичних та трудових затрат може бути використано умовний узагальнений показник  $\Pi_{NGW} = NGw/\Pi^3$ , а показник  $\Pi_{NG} = NG/\Pi^2$  – для оцінки ефективності по ступеню економії матеріальних та енергетичних затрат.

За допомогою показника  $w_{y\delta} = \Pi/w$  – виробіток на одного робітника, – оцінюють економію трудових затрат, а показника  $\Pi$  – продуктивність, – збільшення виробіток продукції за одиницю часу, де  $w$  – кількість робітників. Об’єктами для порівняння землерийних машин з багатоцільовими робочими органами, такими як екскаватори з телескопічним РО, доцільно приймати вузькоспеціалізовані машини, кожна з яких призначена для виконання усього комплексу робіт, еквівалентного роботам, які виконуються землерийною машиною з робочим органом багатоцільового призначення.

Ефективність екскаваторів з телескопічним РО визначають на основі системи показників (табл. 1). Орієнтовна попередня оцінка ефективності конструкційних рішень машини з багатоцільовим робочим обладнанням може бути виконана на основі аналізу узагальненого показника  $\Pi_{NGW}$ . Ефективність визначають порівнянням показників  $\Pi_{NGW_m}$  та  $\Pi_{NGW_k}$  – багатоцільової машини та комплекту машин одно цільового призначення, виконуючих ті самі види робіт, відповідно [7].

$$\Pi_{NGW_m} = \frac{\sum_1^{n'} N_i (\sum_1^k G_j + G_m) w_p p_{n_p}}{\sum_{1,1}^{k,Q} (\Pi_{jq} p_j p_q)^3},$$

де  $n'$  – кількість двигунів, встановлених на машині;  $k$  – кількість робочих органів, які забезпечують виконання відповідних видів робіт;  $Q$  – умови експлуатації (типи ґрунтів, вологість і т.д.);  $\Pi_{jq}$  – продуктивність на кожному виді робіт та умов експлуатації;  $p_j$  – вірогідність появи відповідних видів робіт;  $p_q$  – вірогідність появи відповідних умов експлуатації;  $G_j$  – маса (сила тяжіння) елементів робочого обладнання, які забезпечують виконання відповідних видів робіт;  $w_p$  – кількість робочих, які обслуговують машину;  $p_{w_p}$  – вірогідність одночасної появи робочих, які обслуговують машину.

Таблиця 1.

## Система показників для оцінки ефективності телескопічного робочого обладнання

Група оцінки	Показники	Загальна форма запису показників	Умови раціоналізації та оптимізації
1	Продуктивність	$\Pi$	$\Pi \rightarrow \max$
2	Виробіток на одного робітника	$w_{y\partial} = \frac{\Pi}{W}$	$w_{y\partial} \rightarrow \max$
3	Матеріалоємність	$G_{y\partial} = \frac{G}{\Pi}$	$G_{y\partial} \rightarrow \min$
4	Енергоємність	$N_{y\partial} = \frac{N}{\Pi}$	$N_{y\partial} \rightarrow \min$
5	Узагальнений показник енергоємності та матеріалоємності	$\Pi_{NG} = \frac{N_{y\partial}}{\Pi_{y\partial}};$ $\Pi_{NG} = \frac{NG}{\Pi^2}$	$\Pi_{NG} \rightarrow \min$
6	Узагальнений показник енергоємності, матеріалоємності та виробітки на одного робочого	$\Pi_{NGW} = \frac{N_{y\partial}}{\Pi_{y\partial} w_{y\partial}};$ $\Pi_{NGW} = \frac{NGW}{\Pi^3}$	$\Pi_{NGW} \rightarrow \min$
7	Час циклу, робочих та позациклових операцій	$t_{\psi}, t_{ny.o.}, t_{p_i}$	$t_{\psi} \rightarrow \min$ $t_{ny.o.} \rightarrow \min$ $t_{p_i} \rightarrow \min$
8	Глибина копання	$H_k$	$H_k \rightarrow \max$
9	Місткість ковша	$q$	$q \rightarrow \max$
10	Показник оцінки матеріалоємності глибини копання	$H_{G_{y\partial}} = \frac{G}{H_k}$	$H_{G_{y\partial}} \rightarrow \min$
11	Показник оцінки енергоємності глибини копання	$H_{N_{y\partial}} = \frac{N}{H_k}$	$H_{N_{y\partial}} \rightarrow \min$
12	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності глибини копання	$\Pi_{NGH_k} = \frac{NG}{H_k^2}$	$\Pi_{NGH_k} \rightarrow \min$
13	Об'єм ґрунту, розроблюваного з однієї стоянки екскаватора	$V_{mex.i}$	$V_{mex.i} \rightarrow \max$

Комплект машин, які виконують ті ж самі види робіт, що й машина з багатоцільовим робочим органом, оцінюється за показником  $\Pi_{NGW_k}$ , який записується в наступному вигляді:

$$\Pi_{NGW_k} = \sum_{1,1}^{k,Q} \Pi_{NGW_{jq}},$$

де  $\Pi_{NGW_{jq}}$  – узагальнений показник ефективності машини комплекту на  $k$ -му виді робіт та  $Q$  умові експлуатації.



Систему показників оцінки ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевих екскаваторів доповнено визначенням значень додаткових показників [11,12]:

$$q, H_K, \frac{G}{q}, \frac{N}{q}, \frac{GN}{q^2}, \frac{G}{H_K}, \frac{N}{H_K}, \frac{GN}{H_K^2}, \frac{G^2 N^2}{q^2 H_K^2}.$$

У відповідності із запропонованою методикою було проведено оцінку ефективності роботи одноківшевого екскаватора Cat 312D, оснащеного робочим обладнанням з телескопічною рукояттю, та того ж екскаватора, оснащеного робочим обладнанням з телескопічними стрілою та рукояттю у порівнянні з традиційним робочим обладнанням на прикладі каналу глибиною 3м, шириною 10м, та довжиною 100м.. В таблиці 2 приведена технічна характеристика екскаватора Cat 312D та деякі результати оцінки ефективності. Також побудовані графіки залежності експлуатаційної продуктивності  $P_{\text{екс.}}$ , питомої енергоємності  $N_{y\partial}$  та питомої матеріалоемності  $G_{y\partial}$  від кількості пересувань  $n$  та довжини копання  $L_{\text{коп}}$  (рис. 5, 6, 7).

Таблиця 2.

**Технічна характеристика екскаватора Cat 312D з різноманітним робочим обладнанням та результати оцінки ефективності**

Марка екскаватора	Caterpillar 312D		
Потужність $N$ , кВт	72		
Місткість ковша $q$ , м <sup>3</sup>	0,43		
Швидкість пересування, км/год	5,5		
Тип РО екскаватора	традиційне	телескопічна рукоять	телескопічні стріла та рукоять
Маса (сила тяжіння) екскаватора $G$ , кН	138,321	141,215	151,27
Максимальна глибина копання $H_K$ , мм	5240	6350	7420
Максимальний радіус копання $R$ , мм	8490	9654	11250
Розрахунковий час робочого циклу $t_{\text{ц}}$ , с	15	15,1	15,13
Час на переміщення екскаватора $t_{\text{пер}}$ , с	7,98	8,85	10,0
Кут повороту екскаватора від осі руху $\beta$ , град.	90	90	90
Розрахункова ширина проходки $B$ , м	11,85	13,515	15,790
Об'єм ґрунту, розроблюваного з однієї стоянки екскаватора $V_{\text{мех.і}}$ , м <sup>3</sup>	89,77	137,15	212,66
Показник оцінки матеріалоемності глибини копання $H_{G_{y\partial}}$ , кН/м	26,39	22,24	20,389
Показник оцінки енергоємності глибини копання $H_{N_{y\partial}}$ , кВт/м	13,74	11,34	9,7

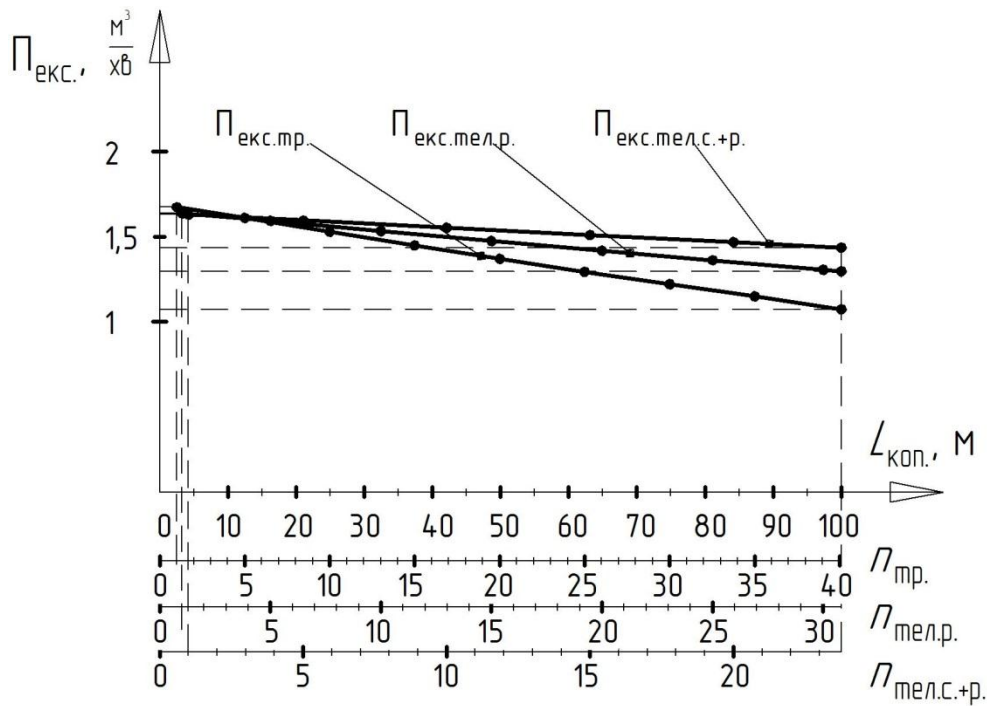


Рис. 5. Графіки залежності експлуатаційної продуктивності  $P_{\text{екс.}}$  від кількості пересувань  $n$  та довжини копання  $L_{\text{коп.}}$ :  $P_{\text{екс.тр.}}$ ,  $P_{\text{екс.тел.р.}}$ ,  $P_{\text{екс.тел.с.+р.}}$  – експлуатаційна продуктивність для машин з традиційним РО, РО з телескопічною рукояттю, та телескопічними стрілою та рукояттю, відповідно.

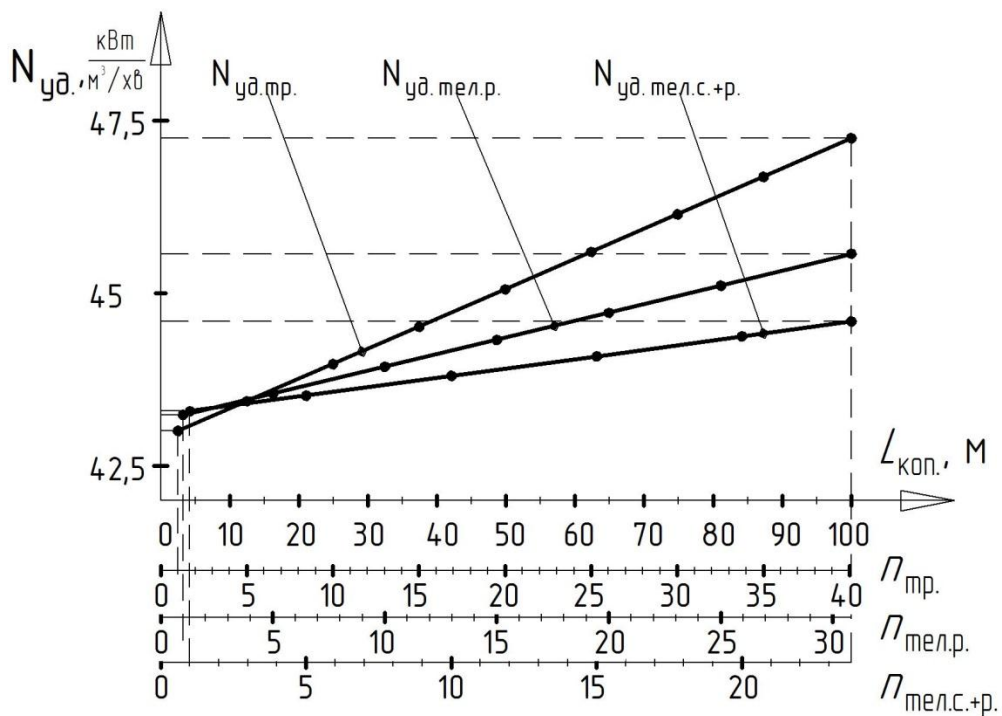


Рис. 6. Графіки залежності питомої енергоємності  $N_{\text{уд}}$  від кількості пересувань  $n$  та довжини копання  $L_{\text{коп.}}$ :  $N_{\text{уд.тр.}}$ ,  $N_{\text{уд.тел.р.}}$ ,  $N_{\text{уд.тел.с.+р.}}$  – питома енергоємність для екскаватора з традиційним РО, РО з телескопічною рукояттю, та робочого обладнання телескопічними стрілою та рукояттю, відповідно.

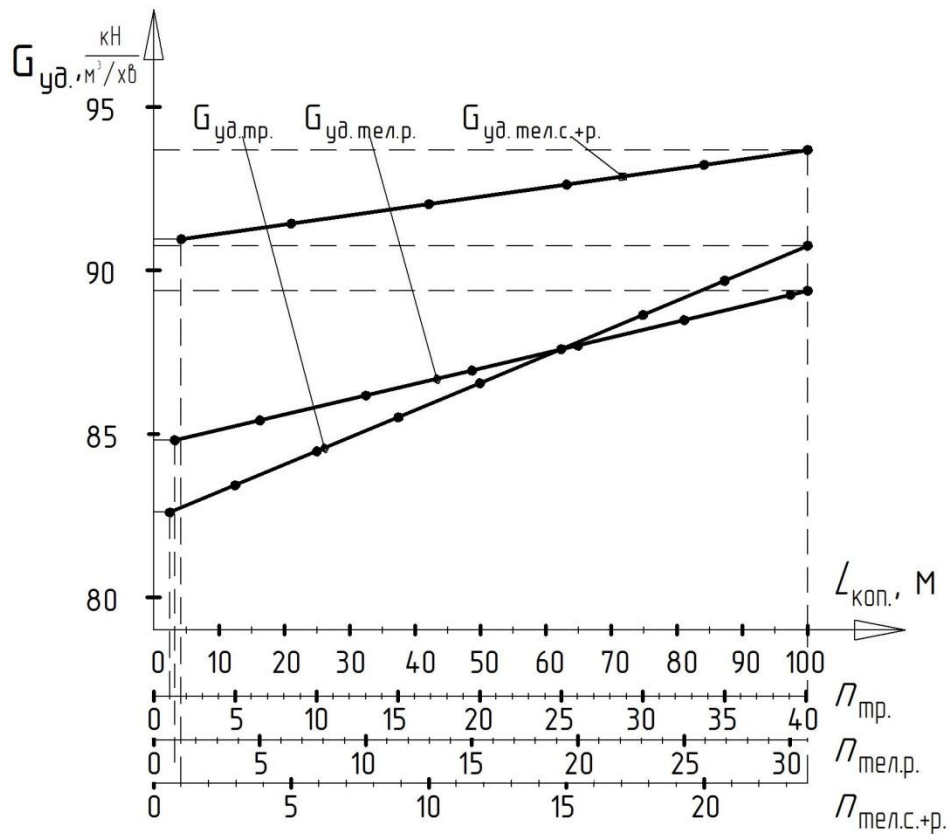


Рис. 7. Графік залежності питомої матеріалоемності  $G_{\text{уд}}$  від кількості пересувань  $n$  та довжини копання  $L_{\text{коп}}$ :  $G_{\text{уд.тр.}}$ ,  $G_{\text{уд.тел.р.}}$ ,  $G_{\text{уд.тел.с.+р.}}$  – питома матеріалоемність для екскаватора з традиційним РО, РО з телескопічною рукояттю, та робочого обладнання з телескопічними стрілою та рукояттю, відповідно.

Екскаватор, оснащений телескопічним робочим обладнанням (як і телескопічною рукояттю, так і телескопічними стрілою та рукояттю) є найкращим вибором для застосування на спеціальних роботах, таких, як чистове оформлення відкосів, очистка, обслуговування, а також видалення рослинності з берегів та дна річок та каналів, екскавація широких та глибоких котлованів. Після закінчення виконання спеціальних робіт оператор може за лічені секунди змінити лінійні параметри робочого обладнання до розмірів традиційного РО, в той час, як заміна додаткових вставок та секцій для традиційного робочого обладнання займає декілька годин і потребує до п'яти робочих.

Кожен раз, коли необхідно копати глибоко вниз чи далеко вперед телескопічне робоче обладнання дозволяє отримати необхідний виліт, який неможливо отримати з використанням традиційного РО. Телескопічне РО можна застосовувати у вузьких місцях та поблизу перешкод, наприклад, мости чи повітряні кабелі, на тих роботах де використання великого 35 тонного екскаватора неможливе, а традиційному РО не вистачає вильоту.

**Висновок.** Застосування робочого обладнання з телескопічною рукояттю та телескопічними стрілою та рукояттю дозволяє збільшити глибину копання на 21,2% та на 40,6%, відповідно, порівняно з традиційним робочим обладнанням, при цьому об'єм ґрунту, що розробляється з однієї стоянки екскаватора збільшується на 52,7% та 136,8%, відповідно. (рис. 5, 6, 7) Використання подібного робочого обладнання дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, а також розширити діапазон робіт, які виконуються.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Машины для земляных работ. Под общ. ред. чл.-кор. АН УССР проф. Ю.А. Ветрова. – 2-е изд., дораб. и доп. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 275с.
2. Машины для земляных работ: Навчальний посібник /Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557с.
3. Хмара Л.А. Оценка эффективности телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. ПГАСиА. Днепропетровск. 2002. Вып.15. 4. 2. С. 143-150.
4. Хмара Л.А. Тенденции совершенствования специализированного землеройного оборудования к тракторам и экскаваторам. Сб. научных трудов: Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Вып. 15. Дн-ск: ПГАСиА, 2002-С. 4-27.
5. Хмара Л.А., Коваленко Р.В. Исследование процесса копания ґрунта одноковшовым гидравлическим экскаватором с телескопическим рабочим оборудованием. Вестник приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Днепропетровск: Gaudeamus. 2002. №8. – С. 33-40.
6. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин /Хмара Л.А., Колісник М.П., Станевський В.П. – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.
7. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки ґрунтов в дорожном строительстве. – М.: Транспорт. 1993. – 383 с.
8. Земляные работы, 2-е издание, переработанное и дополненное /Беяков Ю.И., Левинзон А.Л., Галимуллин В.А. – М.: Стройиздат, 1990, 281 с.
9. Машины для земляных работ /Под ред. Гаркави Н.Г. – М.: Высш. шк. 1982. – 335 с.

10. Методические указания к выполнению курсового проекта «Одноковшовые гидравлические экскаваторы» к дисциплине «Машины для земляных работ» для студентов механических специальностей /Сост. В.К. Тимошенко, Л.А. Хмара, М.И. Деревянчук, И.А. Кулик. – Днепропетровск: ДИСИ, 1989. – 64с.

11. Хмара Л.А., Дахно О.О. Телескопічне робоче обладнання гідравлічного экскаватора, оцінка його ефективності та визначення об'єму копання ґрунту. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. ПГАСиА. Днепропетровск. 2012. Вып.66. 4. 2. С. 29-37.

12. Хмара Л.А., Дахно О.О. Визначення теоретичного об'єму копання ґрунту одноківшевым экскаватором з телескопічним робочим обладнанням. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. ПГАСиА. Днепропетровск. 2012. Вып.66. 4. 2. С. 38-49.

13. Хмара Л.А., Дахно О.О. Формування та оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого гідравлічного экскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. ПГАСиА. Днепропетровск. 2011. Вып.63. 4. 2. С. 142-154.

14. Хмара Л.А., Дахно О.О., Лісничук А.Є. Телескопічне робоче обладнання одноківшевого гідравлічного экскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. ПГАСиА. Днепропетровск. 2011. Вып.63. 4. 2. С. 155-164.

**УДК 621.869.68**

**И. Г. КИРИЧЕНКО, докт. техн. наук,**

**С. Г. КОВАЛЕВСКИЙ, ст. преп., Н. В. РОЗЕНФЕЛЬД, ст. преп.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СКРЕПЕРНОГО ПОЕЗДА**

**Актуальность проблемы.** Работа скрепера в составе поезда существенно изменяет, режимы нагружения металлоконструкций, что приводит к снижению надежности машин. Рассматриваемый скреперный поезд представляет собой сложную динамическую систему со многими степенями свободы, состоящую из двухосных