

Розрахункова робота

Чисельне моделювання продуктивності екскаватора

Викликана загальним розвитком технологічного прогресу необхідність прогнозування технологічних процесів потребує знаходження зв'язку між параметрами цих процесів. Однак процес може протікати в різних режимах, і є досить важливим знаходження області визначальних параметрів, які відповідають оптимальному режиму протікання технологічного процесу. Ці проблеми в тій чи іншій степені висвітлювались у всьому списку літератури (1-15). Оптимізація технологічних процесів несе з собою суттєвий економічний ефект вже тільки тому, що не потребує яких-небудь додаткових капіталовкладень для реалізації. Так, наприклад тільки за рахунок зміни на декілька метрів ширини забою, який розробляється екскаватором, можна суттєво збільшити продуктивність землерийної машини. Враховуючи великі об'єми землерийних робіт (по даним академіка А.Л. Яншина ці об'єми в світі складають приблизно $60 \text{ км}^3/\text{год}$ (об'єми вулканічної діяльності – 16)), загальний ефект від оптимізації буде суттєвим. І, якщо не рахувати затрат на постановку задачі і відповідні розрахунки, все це легко досягається. Нижче розглядається аналогічна задачі на прикладі екскаватора “пряма лопата”.

1. Критерії вибору екскаваторів

Для вибору оптимального варіанта використаєм узагальнені критерії (1,2,3).

Критерії вибору екскаватора типу “пряма лопата” наступні:

$IV - 1$: по об'єму ковша, тобто $q_v \geq q_t$,

де q – геометричний об'єм ковша (можливий і необхідний).

Таблиця №1

Об'єм виємки V_t , м ³ :	Рекомендований об'єм ковша екскаватора q_t , м ³
До 2500	0,4 – 0,6
До 5000	1 – 1,25
До 25000	1,6 – 2,5

Крім того, рекомендується виконання наступних критеріїв:

III – 1 : по висоті копання ґрунту, тобто $H_B \geq H_T$ при $H_B = \eta_{HB} \times H_{HB}$ і $H_B = H_p \times \eta_p$ і $H_T = H$,

Де H_{HB} – висота напірного валу екскаватора; H – необхідна висота забою (ярусу) розробки ґрунту; η_{HB} – коефіцієнт використання висоти напірного валу;

H_p і η_p – висота різання (копання) ґрунту і коефіцієнт її використання (0,85 – 1,0), для сипких ґрунтів він необмежений;

III – 2 : по висоті наповнення ковша, тобто $H_B \geq H_T$, при $H_T \geq H_{HK}$,

Де H_{HK} – висота наповнення ковша (2);

III – 3 : по висоті розвантаження ґрунту, тобто $H_{BB} \geq H_{TB}$ при $H_{TB} = H_{mp} + \Delta H + \Delta h$,

Де H_{BB} – висота розвантаження при необхідному радіусі розвантаження R_{BB} , по $H_{BB} = f(R_{BB})$; H_{mp} – висота кузову автосамоскиду; ΔH – різниця в рівнях стоянки машин; Δh – запас висоти (0,5 – 1м).

2. Методика розрахунку експлуатаційної продуктивності і оптимальної ширини забою одноковшового екскаватора

Розглянемо роботу екскаватора “пряма лопата” в бічному ярусовому забої при навантаженні ґрунту на автосамоскиди. Тут одним з основних параметрів являється ширина забою B , яка впливає на продуктивність екскаватора. При цьому існує оптимальна ширина забою, відхилення від якої, як в сторону зменшення, так і в сторону збільшення, призводить до зниження продуктивності екскаватора. Знаходження оптимальної ширини забою, забезпечує максимум продуктивності, і являється ціллю приведеного рішення.

Технічну годинну продуктивність екскаватора запишемо у вигляді :

$$ПГ = \frac{Q_{ц}}{T_{ц}},$$

Де $Q_{ц}$ – боєм ґрунту в ковші, приведений до природної щільності у виємці;

$T_{ц}$ – тривалість циклу екскавації.

$$Q_{\text{ц}} = q \times K_3,$$

При

$$K_3 = \left(\frac{K_H}{K_P} \right) \times K_C \times K_a \times \eta_B \times \dots,$$

Де q – геометричний об’єм ковша; K_3 – коефіцієнт заповнення ковша ґрунтом;

K_H – коефіцієнт наповнення; K_P – коефіцієнт розрихлення ґрунту; K_C – коефіцієнт збереження ґрунту при пересуванні; K_a – коефіцієнт, який враховує вплив ухилу місцевості; η_B – коефіцієнт ефективності розвантаження ($\eta_B \cong 1,0$).

Експлуатаційна продуктивність:

$$\Pi^E = \Pi^T \times K_B.$$

Коефіцієнт використання робочого часу K_B для екскаватора “пряма лопата” можна уточнити по (7,8,4,1,6). Тут знаходимо його по формулі:

$$K_B = \frac{1 - \Sigma \theta_j}{1 + \Sigma \theta_i},$$

Де θ_i – відносна продуктивність основних робіт;

θ_j – відносний час виконання інших робіт j – го роду.

$$\theta_j = \frac{T_j}{T_{oj}},$$

Де T_j – час виконання іншої роботи j ;

T_{oj} – проміжок повного часу робіт, до яких відносять T_j .

$j = 1$ – щогодинний час оператора, наприклад: $T_1 = 5$ хв, $T_{o1} = 1$ година;

$j = 2$ – напів-змінний відпочинок: $T_2 = 5$ хв, $T_{o2} = 4$ години;

$j = 3$ – щозмінний відпочинок: $T_3 = 5$ хв, $T_{o3} = 8$ годин.

$$\theta_i = \frac{\Pi^T}{\Pi_i},$$

Де Π_i – умовна продуктивність виконання інших робіт i –го виду.

$$\Pi_i = \frac{W_i}{T_{ni}},$$

Де T_{ni} – абсолютний час виконання іншої i – й роботи;

W_i – об'єм основних робіт, які виконуються до початку виконання іншої i – й роботи.

$i = 1$ – урахування часу на заміну автомобілей-самоскидів перед екскаватором:

$$T_{п1} = T_{МП},$$

$$W_1 = Q_{ц} \times m,$$

Де $T_{МП}$ – час маневру самоскиду перед навантаженням (0,5 – 2хв), включаючи перерви в подачі самоскидів; $Q_{ц}$ – об'єм ґрунту в ковші екскаватора, приведений до щільного стану виємки;

m – число ковшів з ґрунтом, які подаються на один самоскид.

$i = 2$ – урахування часу на перехід екскаватора з однієї стоянки на іншу:

$$T_{п1} = T_{ПЕР},$$

$$W_2 = l_{п} \times H \times B,$$

Де $T_{ПЕР}$ – час, який витрачається на одне пересування екскаватора (1 – 4 хв);

W_2 – об'єм ґрунту, який розробляється однієї стоянки екскаватора;

$l_{п}$ – довжина пересування екскаватора; B – ширина забою; H – висота забою.

$i = 3$ – перехід на інший забій

$i = 4$ – перехід на інший ярус і т.д.

$$B = 2 \times \left(2 \times R \times \frac{\sin \beta}{2} - a \right),$$

Де R – середній розрахунковий радіус копання (при забої ґрунту);

β – середній розрахунковий кут повороту екскаватора на розвантаження (рад).

Приватна ширина робочої зони екскаватора:

$$a = a_0 + a_T \text{ при } a_0 = H \times \cot a \text{ і } a_T = \frac{b_T}{2} + \Delta a_T,$$

Де a_0 – ексцентриситет забою; a_T – відстань від границі забою до вісі транспортного ходу; b_T – ширина транспортного засобу; Δa_T – запас ширини (0,5 – 1,0 м); α – розрахунковий кут відкосу елемента забою (50 – 75°).

$$T_{\Pi} = K_{\Pi} \times \beta + T_0.$$

Нижче приведені довідникові емпіричні залежності:

$$T_0 = K_{TP} \times 2,7 \times \sqrt[4]{M_E} + 2 + 0,5 \times R_p, \text{ с}$$

$$K_{\Pi} = 0,45 \times R_p, \text{ с/рад}$$

$$l_{\Pi} = 0,5 \times H_{HB}, \text{ м}$$

$$H = \eta_{HB} \times H_{HB}, \text{ м}$$

$$H_{HB} = 1,5 \times \sqrt[4]{M_E}, \text{ м}$$

$$R = R_B - 0,5 \times l_{\Pi}, \text{ м}$$

Тут K_{TP} – коефіцієнт важкості розробки ґрунту (0,55 – 1,0); M_E – маса екскаватора, т; R_p – максимальний радіус копання ґрунту; η_{HB} – відносна висота забою (1,0 – 1,2); H_{HB} – висота напірного вала на стрілі екскаватора;

R_B – максимальний радіус розвантаження; H – рекомендована висота забою (може мати і іншу величину, наприклад отриману з умови розбивки виємки на окремі яруси розробки, при цьому розрахункова висота забою буде прийнята у відповідності з конкретною розбивкою).

З геометричних співвідношень маємо межу величини для ширини забою (теоретичний максимум і технологічний мінімум).

$$B_{\text{ТЕОР}}^{\text{MAX}} = \frac{2}{3} \left[2 \times \left(\sqrt{R_{CT}^2 - l_{\Pi}^2} + a_0 \right) - a \right],$$

$$B_{\text{ТЕХН}}^{\text{MIN}} = \frac{m \times Q_{\Pi}}{l_{\Pi} \times H}, B_{\text{MIN}} = b_{\text{КОВША}},$$

Де R_{CT} – максимальний радіус копання ґрунту на рівні стоянки екскаватора.

При малих B рекомендується перевірити, чи не торкається платформа екскаватора відкосів забою. Перевірка легко виконується графічно на плані забою чи по умові:

$$B_{\text{ГЕОМ}}^{\text{MIN}} = 2 \times r_{XB},$$

Де r_{XB} – радіус хвостової частини екскаватора.

Абсолютна максимальна ширина забою (фізичний максимум) і її технологічний максимум

$$B_{MAX}^{ФІЗ} = \sqrt{R_{СТ}^2 - l_{П}^2} + R_B - a_T,$$

$$B_{MAX}^{ТЕХ1} = 2\sqrt{R_{СТ}^2 - l_{П}^2} \text{ або } B_{MAX}^{ТЕХ2} = 2R_{СТ},$$

Де R_B – максимальний радіус розвантаження

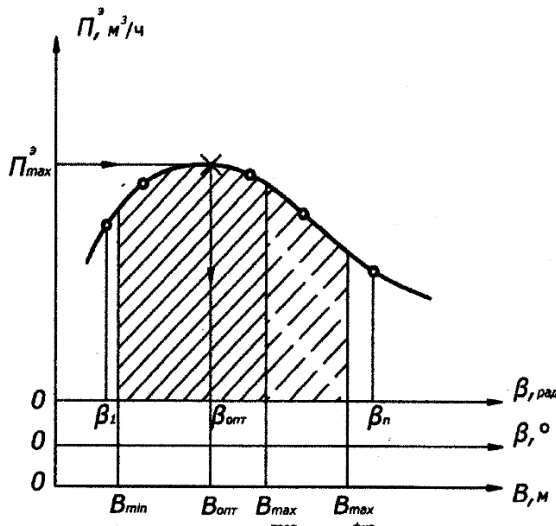


Рисунок 1. Графік функции $\Pi^2=f(\beta, B)$

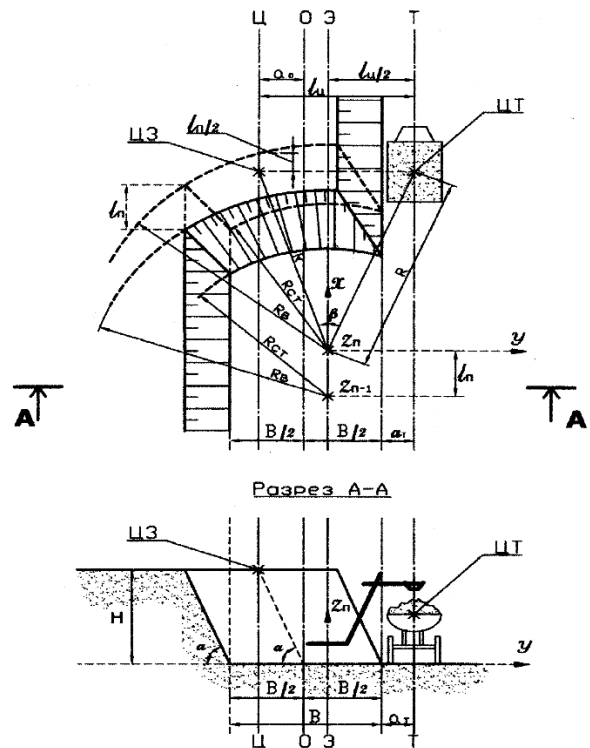


Рисунок 2. Схема оптимального забою

Задаючи ряд величин β_i , знаходять відповідні їм продуктивності Π^E і будують графік функції $\Pi^E = f(\beta, B)$, представлений на рис.1, по якому знаходять оптимальний кут повороту екскаватора $\beta_{опт}$, який відповідає максимуму експлуатаційної продуктивності Π_{max}^E . По величині $\beta_{опт}$ знаходять інші технологічні параметри, в тому числі оптимальну ширину забою $B_{опт}$ і уточнюють розрахунком величину Π_{max}^E . Схема оптимального забою наведена на рис.2

3. Вихідні дані для розрахунку

Найменування і група ґрунту: супісок з домішками щебня, в об'ємі до 10% , група II; $m_k = 7$ шт; $T_{МП} = 30$ с; $T_{ПЕР} = 60$ с; розміри котловану по низу 28 м × 40 м; котлован розбитий на три яруса, максимальна висота яруса 4,755м.

Був вибраний екскаватор ЕКГ-5А.

Характеристики вибраного екскаватора приведені в таблиці №2

Показник	ЕКГ-5А
Ємність ковша, м ³	5
Довжина стріли, м	10,5
Довжина рукояті, м	7,8
Кут нахилу стріли, град	45
Найбільший радіус копання, м	14,5
Найбільша висота розвантаження, м	6,7
Радіус розвантаження при найбільшій висоті розвантаження, м	
Найбільший радіус розвантаження, м	12,65
Висота копання при найбільшому радіусі розвантаження, м	
Найбільша висота копання, м	10,3
Глибина копання нижче рівня стоянки, м	
Маса екскаватора (конструктивна), т	157
Тривалість робочого циклу при куті повороту 90°	22,8

4. Розрахунки і результати

- По формулі $K_3 = \left(\frac{K_H}{K_P}\right) \times K_C \times K_a \times \eta_B \times \dots$

$$K_3 = \frac{1}{1,5} \times 1 \times 1 \times 1 = 0,67$$

$$K_H = 1, K_P = 1,5, K_C = 1, K_a = 1.$$

- По формулі $Q_{Ц} = q \times K_3$:

$$Q_{Ц} = 5 \times 0,67 = 3,33 \text{ м}^3$$

$$J = 1: \theta_1 = \frac{T_1}{T_{o1}} = \frac{5}{60} = 0,08$$

$$J = 2: \theta_2 = \frac{T_2}{T_{o2}} = \frac{5}{240} = 0,02$$

$$J = 3: \theta_3 = \frac{T_3}{T_{o3}} = \frac{5}{480} = 0,01$$

- $i = 1$: по формулі $T_{п1} = T_{МП} = 30$ сек.
- По формулі $W_1 = Q_{ц} \times m$,

$$W_1 = 3,33 \times 7 = 23,33 \text{ м}^3$$

- По формулі $\Pi_1 = \frac{W_i}{T_{ni}}$,

$$\Pi_1 = \frac{23,33}{30} = 0,778$$

- $i = 1$: по формулі $T_{п2} = T_{ПЕР} = 60$ сек.
- По формулі $a = a_0 + a_T$

$$a = 4,433 \text{ м},$$

$$\text{При } a_0 = H \times \cot a$$

$$a_0 = 5,31 \times \cot 70^\circ = 1,933 \text{ м}.$$

$$\text{При } a_T = \frac{b_T}{2} + \Delta a_T$$

$$a_T = \frac{3}{2} + 1 = 2,5 \text{ м}$$

$$\text{По формулі } T_0 = K_{TP} \times 2,7 \times \sqrt[4]{M_E} + 2 + 0,5 \times R_p$$

$$K_{ц} = 0,45 \times R_p, \text{ с/рад}$$

$$l_{\Pi} = 0,5 \times H_{HB}, \text{ м}$$

$$H = \eta_{HB} \times H_{HB}, \text{ м}$$

$$H_{HB} = 1,5 \times \sqrt[4]{M_E}, \text{ м}$$

$$R = R_B - 0,5 \times l_{\Pi}, \text{ м}$$

$$K_{\Pi} = 0,45 \times 14,5 = 6,525 \text{ с/рад};$$

$$l_{\Pi} = 0,5 \times 5,31 = 2,655 \text{ м};$$

$$H = 1 \times 5,31 = 5,31 \text{ м};$$

$$H_{HB} = 1,5 \times \sqrt[4]{157} = 5,31 \text{ м};$$

$$R = 12,65 - 0,5 \times 2,655 = 11,323 \text{ м}.$$

$$T_0 = 1 \times 2,7 \times \sqrt[4]{157} + 2 + 0,5 \times 14,5 = 18,807 \text{ с}$$

- По формулі $B_{MAX}^{ТЕОР} = \frac{2}{3} \left[2 \times \left(\sqrt{R_{CT}^2 - l_{\Pi}^2} + a_0 \right) - a \right],$

$$B_{MAX}^{ТЕОР} = \frac{2}{3} \times \left[2 \times \left(\sqrt{9,3^2 - 2,655^2} + 1,933 \right) - 4,433 \right] = 11,506 \text{ м}$$

- По формулі $B_{MIN}^{ТЕХН} = \frac{m \times Q_{\Pi}}{l_{\Pi} \times H},$

$$B_{MIN}^{ТЕХН} = \frac{7 \times 3,33}{2,655 \times 5,31} = 2,8 \text{ м}.$$

- По формулі $B_{MAX}^{ФІЗ} = \sqrt{R_{CT}^2 - l_{\Pi}^2} + R_B - a_T,$

$$B_{MAX}^{ФІЗ} = \sqrt{9,3^2 - 2,655^2} + 12,65 - 2,5 = 19,063 \text{ м}$$

- По формулі $B_{MAX}^{ТЕХ} = 2 \sqrt{R_{CT}^2 - l_{\Pi}^2}$ або $B_{MAX}^{ТЕХ2} = 2R_{CT},$

$$B_{MAX}^{ТЕХ1} = 2 \sqrt{9,3^2 - 2,655^2} = 17,826 \text{ м}.$$

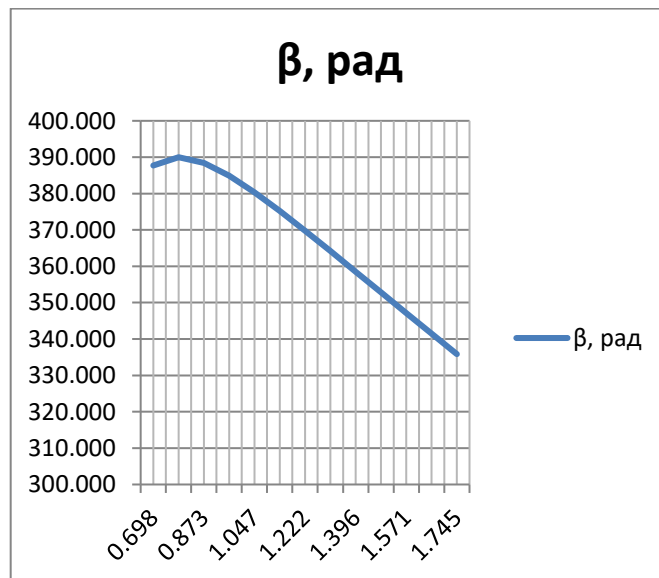
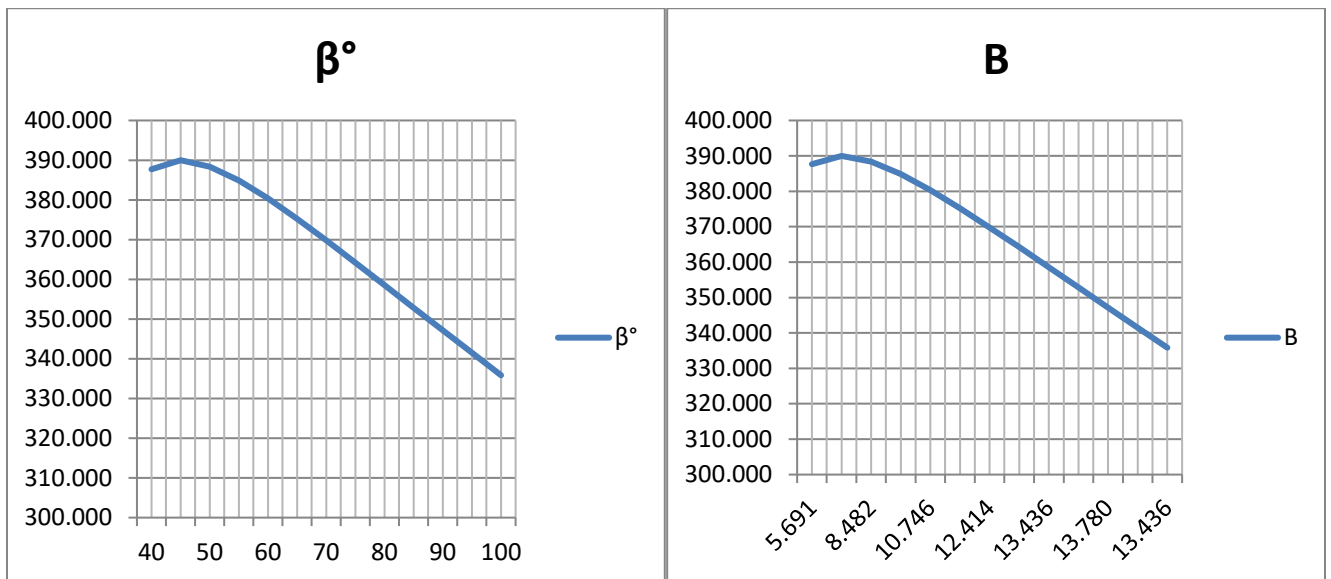
$$B_{MAX}^{ТЕХ1} = 2 * 9,3 = 18,6 \text{ м}.$$

Таблиця 3. Залежність $P^e=f(\beta, B)$

При $T_{мп}=30$ $T_{пр}=60$

Пе, м3/с	Пт, м3/с	Тц/с	Кв	θ_1	П2	θ_2	$\Sigma\theta$	В	син $\beta/2$	β°	β , рад
387,705	0,143	23,36269	0,755	0,183	1,337008	0,107	0,290	5,691	0,321	40	0,698
389,989	0,139	23,9321	0,778	0,179	1,679198	0,083	0,262	7,147	0,354	45	0,785
388,393	0,136	24,50151	0,793	0,175	1,992757	0,068	0,243	8,482	0,383	50	0,873
384,880	0,133	25,07093	0,804	0,171	2,275299	0,058	0,229	9,685	0,410	55	0,960
380,340	0,130	25,64034	0,813	0,167	2,524674	0,051	0,219	10,746	0,433	60	1,047
375,230	0,127	26,20975	0,820	0,164	2,738984	0,046	0,210	11,658	0,453	65	1,134
369,802	0,124	26,77917	0,825	0,160	2,916598	0,043	0,203	12,414	0,470	70	1,222
364,207	0,122	27,34858	0,830	0,157	3,056163	0,040	0,197	13,008	0,483	75	1,309
358,533	0,119	27,91799	0,834	0,154	3,156618	0,038	0,191	13,436	0,492	80	1,396
352,837	0,117	28,48741	0,838	0,150	3,217199	0,036	0,187	13,694	0,498	85	1,484
347,148	0,115	29,05682	0,841	0,147	3,237444	0,035	0,183	13,780	0,500	90	1,571
341,482	0,113	29,62624	0,843	0,145	3,217199	0,035	0,180	13,694	0,498	95	1,658
335,844	0,110	30,19565	0,845	0,142	3,156618	0,035	0,177	13,436	0,492	100	1,745

Графіки Залежності $P^e=f(\beta, B)$



Графіки зміни продуктивності відносно зміни часу $T_{мп}$ - час маневру самосвалу перед завантаженням та $T_{пер}$ – час переїзду екскаватора між пунктами стояння.

