

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва та архітектури

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
З ОПТИМАЛЬНИМ СКЛАДОМ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН**

Методичні вказівки  
до виконання курсової роботи з дисципліни  
«Комп'ютерне моделювання процесів та систем»  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти спеціальності 174 «Автоматизація  
та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
всіх форм навчання

Київ 2025

УДК 681.513.674

М74

Укладачі: О. В. Гаврюков, д-р. техн. наук, доцент;  
С. В. Іносов, канд. техн. наук, доцент;  
М. І. Самойленко, асистент;  
А. О. Вольтерс, асистент

Рецензент А. В. Запривода, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск В.Ю. Луценко канд. тнхн. наук, доцент

*Затверджено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів, протокол № 4 від 23 жовтня року.*

В авторській редакції.

**Модельовання** технологічного процесу з оптимальним складом  
М74 будівельних машин [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання курсової роботи / уклад. : О. В. Гаврюков та ін.. – Київ: КНУБА, 2025. – 17 с.

Містять зміст, порядок виконання курсової робіт.

Розглянуто принципи імітаційного модельовання та практичне застосування цих принципів для побудови імітаційних моделей з використанням ПЕОМ.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» всіх форм навчання.

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Комп'ютерне моделювання процесів та систем» викладається відповідно до навчального плану підготовки бакалаврів за спеціальністю 174 «Автоматизація комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Загальна мета дисципліни полягає у викладенні студентам основ знань пов'язаних з побудовою моделей реальних систем, проведенням експериментів з цими моделями та управлінням такими експериментами. Дисципліна викладається на базі знань з фундаментальних та професійно-орієнтованих дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Комп'ютерна техніка та організація обчислювальних робіт», «Чисельні методи та моделювання на ЕОМ», «Теорія автоматичного управління».

Завдання виконується у вигляді звіту та програмного продукту.

Термін виконання – впродовж дев'яти тижнів.

Обсяг – 10 - 15 аркушів формату А4.

Виконання завдання передбачає детальне вивчення лекційного курсу і зокрема спеціалізованої літератури щодо конкретної практичної задачі.

## ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Варіант	Об'єм ковша екскаватора, м <sup>3</sup>	Ґрунт, що розробляється	Відстань транспортування ґрунта, км	Швидкість транспортування автосамоскидами, км/год.
1	0,65	Пісок рихлий, сухий	10	50
2	1,0	Пісок вологий	15	55
3	1,25	Суглинок	20	60
4	1,25	Ґлина	10	65
5	2,5	Важка ґлина	15	70
6	4,6	Сланці	20	50
7	0,65	Щільний суглинок	10	55
8	1,0	Середній і мілкий гравій	15	60
9	1,25	Супісь	20	65
10	1,25	Пісок рихлий, сухий	10	70
11	2,5	Суглинок розпушений	15	50
12	4,6	Легка ґлина	20	55
13	0,65	Суглинок зі щебнем	10	60
14	1,0	Легкий скальний ґрунт	15	65
15	1,25	Пісок рихлий, сухий	20	70
16	1,25	Пісок вологий	10	50
18	2,5	Суглинок	15	55
19	4,6	Ґлина	20	60
20	0,65	Важка ґлина	10	65
21	1,0	Сланці	15	70

При виконанні будівельних робіт застосовують різні види машин. Вибір складу машин задіяних в технологічному процесі суттєво впливає на собівартість виконаних будівельних робіт. Існує достатньо методик, що визначають ефективність використання тієї чи іншої машини в даному технологічному процесі.

Наприклад в роботі [1] пропонується визначити коефіцієнт технологічної ефективності застосування в технологічному процесі однієї машини в порівнянні з іншою. Визначають продуктивність технологічного процесу в розробленій для кожної машини технологічній схемі виконання робіт.

Під час виконання технологічного процесу складом машин виникає необхідність в оптимальному виборі задіяних машин у якому собівартість виконаних робіт була би мінімальною. Таку задачу можливо вирішити застосувавши математичне моделювання.

Оскільки під час моделювання технологічного процесу не можливо використовувати усі фактори, то виділяються найбільш вагомні з них.

Математична модель служить основою для розробки алгоритму задачі по визначенню оптимального складу будівельних машин в технологічному процесі.

Задачі оптимізації, тобто їх рішення включає такі задачі етапи:

1. Постановка задачі і вибір критерію оптимальності.
2. Виявлення основних властивостей взаємозв'язків та кількісних закономірностей, які характеризують процес функціонування комплексу машин.
3. Побудова формалізованої математичної моделі.
4. Дослідження математичної моделі.
5. Подання результатів дослідження з обліком змістової постановки задачі.

У цих методичних вказівках наведено основні залежності, що можуть бути застосовані для визначення оптимального складу машин, задіяних у технологічному процесі. Розглядається технологічний процес роботи одноківшевого екскаватора і самоскидів які транспортують вийнятий ґрунт з забою.

### **1. Постановка задачі і вибір критерію оптимальності**

Відомо техніко-економічні витрати на експлуатацію екскаватора і автосамоскида, ґрунт, що розробляється, об'єм ковша екскаватора, дальність

і швидкість транспортування ґрунту. Потрібно визначити з якою вантажопідйомністю автосамоскиди мають працювати з цим екскаватором і яка їх кількість потрібна бути, щоби питомі приведені витрати були мінімальними.

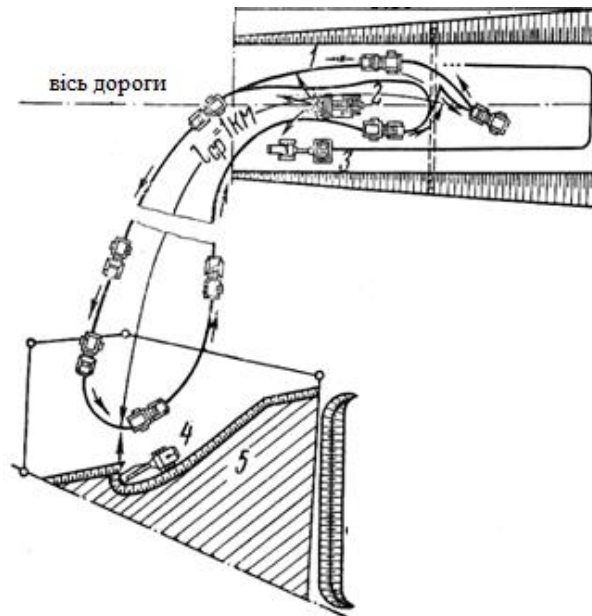


Рис. 1. Схема устрою насипу з ґрунту, що розробляється в кар'єрі з транспортуванням в насип:  
1 – автомобіль-самоскид; 2 – бульдозер; 3 – каток на пневматичних шинах причіпний; 4 – екскаватор; 5 – ґрунтовий кар'єр

В загальному вигляді питомі приведені витрати, що враховують експлуатаційну продуктивність комплекту машин обчислюються за формулою

$$V_{\text{питом.}} = \frac{C_o}{\Pi_{\text{маш.}} \cdot T_o} + \frac{E_n \cdot K}{\Pi_{\text{маш.}} \cdot T_0}, \text{ грн./т,} \quad (1)$$

де  $C_o$  – собівартість за виконані механізовані роботи на об'єкті (поточні експлуатаційні витрати), грн;  $\Pi_{\text{маш.}}$  – годинна експлуатаційна продуктивність комплекту машин, т/год;  $T_o$  – час роботи машин на об'єкті, год;  $E_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;  $K$  – капітальні витрати, що пов'язані з придбанням техніки, грн.

З урахуванням залежності (1) питомі приведені витрати, що пов'язані з роботою однакового екскаватора і автосамоскидами будуть обчислюватися за формулою

$$B_{\text{питом.}} = \frac{C_{\text{екс.}} + C'_a \cdot N + C''_a \cdot n \cdot 2L}{\Pi_{\text{екс.зм.}}} + \frac{K_{\text{екс.}} + K_a \cdot N}{\Pi_{\text{екс.см.}}} \cdot E_n, \text{ грн/т}, \quad (2)$$

де  $C_{\text{екс.}}$  – собівартість машино-зміни екскаватора (експлуатаційні витрати), грн;  $C'_a$  – собівартість машино-зміни автосамоскида, яка не залежать від пробігу (експлуатаційні витрати), грн/зм.;  $C''_a$  – собівартість автосамоскида, яка залежать від пробігу (експлуатаційні витрати), грн/м;  $N$  – необхідна кількість автосамоскидів, шт.;  $L$  – відстань транспортування, м;  $\Pi_{\text{екс.зм.}}$  – змінна експлуатаційна продуктивність екскаватора (комплексу машин), т/зм.;  $K_a$  – інвентарно-розрахункова вартість автосамоскида (капітальні витрати, що пов'язані з придбанням техніки), грн;  $K_{\text{екс.}}$  – інвентарно-розрахункова вартість екскаватора (капітальні витрати, що пов'язані з придбанням техніки), грн;  $n$  – число поїздок автосамоскидів за зміну, поїздок/зм.

Основна задача – виявити, для якої вантажопідйомності автосамоскида питомі приведені затрати будуть мінімальними. Це і є критерій оптимальності коли  $B_{\text{питом.}} \rightarrow \min$ .

## 2. Виявлення основних властивостей взаємозв'язків та кількісних закономірностей, які характеризують процес функціонування комплексу машин

Число поїздок автосамоскидів за зміну визначимо за формулою

$$n = \frac{N \cdot t_{\text{зм.}}}{t_{\text{рс}}}, \text{ поїзд./зм}, \quad (3)$$

де  $t_{\text{рс}}$  – час, що витрачається автосамоскидом на рейс (з вантажем і без), год.;  $t_{\text{зм.}} = 6$  – час зміни, год.

$$t_{\text{рс}} = t_n + t_{\text{руху}} + t_{\text{розв.}}, \text{ год},$$

де  $t_{\text{руху}} = 2L/V_{\text{сп}}$  – час руху автосамоскиду, год;  $L$  – відстань транспортування вантажу, км;  $V_{\text{сп}}$  – середня швидкість транспортування вантажу, км;  $t_{\text{розв.}} = 20 \text{ с} = 0,0056 \text{ год}$  – час розвантаження автосамоскиду, год;

$$t_{pc} = t_n + \frac{2L}{V_{cp.}} + t_{розв.}, \text{ ГОД.} \quad (4)$$

Підставивши залежність (4) в (3), отримаємо залежність, що враховує середню швидкість автосамоскиду

$$n = \frac{N \cdot t_{зм.} \cdot V_{cp.}}{t_n \cdot V_{cp.} + 2L + t_{розв.} \cdot V_{cp.}}, \text{ ПОЇЗД./ЗМ.} \quad (5)$$

Час наповнення автосамоскиду екскаватором визначається залежністю

$$t_n = \frac{g}{g_{екс.}} \cdot t_u, \text{ ГОД,} \quad (6)$$

де  $g$  – маса ґрунту, що завантажується однокішшовим екскаватором на

автосамоскид, т;  $g_{екс.} = q \frac{K_n \cdot \gamma}{K_p}$  – маса ґрунту, що завантажується ковшем

однокішшового екскаватора за один раз на автосамоскид, т;  $q$  – об'єм ковша, м<sup>3</sup>;  $K_n = 1,1$  – коефіцієнт наповнення ковша;  $K_p$  – коефіцієнт розпушення ґрунту;  $\gamma$  – щільність ґрунту, т/м<sup>3</sup>.

Підставивши рівняння (6) в рівняння (5), отримаємо

$$n = \frac{N \cdot t_{зм.} \cdot V_{cp.}}{g \frac{t_u \cdot V_{cp.}}{g_{екс.}} + 2L + t_{розв.} \cdot V_{cp.}}, \text{ ПОЇЗД./ЗМ.} \quad (7)$$

Виконавши перетворення рівняння (7), отримаємо необхідну кількість автосамоскидів, що працюють під час зміни

$$N = \left( \frac{g \cdot t_u}{g_{екс.} \cdot t_{зм.}} + \frac{2L}{t_{зм.} \cdot V_{cp.}} + \frac{t_{розв.}}{t_{зм.}} \right) \cdot n, \text{ АВТОСК./ЗМ.} \quad (8)$$

Змінна продуктивність екскаватора визначається залежністю

$$\Pi_{екс.зм.} = g_{екс.} \cdot \frac{t_{зм.}}{t_u}, \text{ Т/ЗМ.} \quad (9)$$

Змінна продуктивність автосамоскидів визначається залежністю

$$\Pi_{\text{екс.зм.}} = g \cdot n, \text{ Т/зм.} \quad (10)$$

Згідно з постановкою задачі продуктивність екскаватора має дорівнювати продуктивності автосамоскидів. Прирівнявши рівняння (9) рівнянню (10) і виконавши перетворення отримаємо

$$n = \frac{g_{\text{екс.}} \cdot t_{\text{зм.}}}{g \cdot t_{\text{ц}}}, \text{ поїзд./зм.} \quad (11)$$

Підставивши рівняння (11) в рівняння (8), отримаємо

$$N = \frac{g \cdot t_{\text{ц}} \cdot V_{\text{сп.}} + g_{\text{екс.}} \cdot (2L + t_{\text{розв.}} \cdot V_{\text{сп.}})}{g \cdot t_{\text{ц}} \cdot V_{\text{сп.}}}, \text{ автоск./зм.} \quad (12)$$

Експлуатаційні показники собівартості машино-зміни і капітальні витрати на придбання автосамоскидів мають вигляд лінійних рівнянь регресії залежно від цієї вантажопідйомності [2]

$$C'_a = A_1 + A_2 \cdot g, \text{ грн} \quad (13)$$

$$C''_a = A_3 + A_4 \cdot g, \text{ грн/км} \quad (14)$$

$$K_a = A_5 + A_6 \cdot g, \text{ грн,} \quad (15)$$

де вільні члени  $A_1, A_3, A_5$  і коефіцієнти рівняння регресії  $A_2, A_4, A_6$  знаходяться по статистичним вартісним даним на автосамоскиди.

### 3. Побудова формалізованої математичної моделі

Підставивши в рівняння (2) рівняння (11-15), отримаємо залежність зміни питомих витрат складу машин залежно від вантажопідйомності автосамоскидів.

$$B_{\text{нум.}} = \frac{C_{\text{екс.}} + (A_1 + A_2 \cdot g) \frac{g \cdot t_{\text{ц}} \cdot V_{\text{сп.}} + (g_{\text{екс.}} \cdot 2L + g_{\text{екс.}} \cdot t_{\text{розв.}} \cdot V_{\text{сп.}})}{g \cdot t_{\text{ц}} \cdot V_{\text{сп.}}} + (A_3 + A_4 \cdot g) \frac{g_{\text{екс.}} \cdot t_{\text{зм.}}}{g \cdot t_{\text{ц}}}}{\Pi_{\text{екс.зм.}}} +$$

$$K_{екс.} + (A_5 + A_6 \cdot g) \cdot \frac{g \cdot t_{\psi} \cdot V_{ср.} + (g_{екс.} \cdot 2L + g_{екс.} \cdot t_{розв.} \cdot V_{ср.})}{g \cdot t_{\psi} \cdot V_{ср.}} + \frac{\dots}{\Pi_{екс.см.}} \cdot E_n, \text{ грн.} \quad (16)$$

Позначимо постійні члени рівняння, що не залежать від змінних параметрів буквою  $W$

$$W = (g_{екс.} \cdot 2L + g_{екс.} \cdot t_{розв.} \cdot V_{ср.}), \text{ Т/км} \quad (17)$$

Після перетворень рівняння (16), отримаємо

$$B_{num.} = \frac{A_3 \cdot g_{екс.} \cdot t_{зм.}}{\Pi_{екс.зм.} \cdot g \cdot t_{\psi}} + \frac{W(A_1 + A_5 \cdot E_n)}{\Pi_{екс.зм.} \cdot g \cdot t_{\psi} \cdot V_{ср.}} + \frac{A_2 + A_6 \cdot E_n}{\Pi_{екс.см.}} \cdot g + \frac{C_{екс.} + A_1}{\Pi_{екс.зм.}} + \frac{A_4 \cdot g_{екс.} \cdot t_{зм.}}{\Pi_{екс.зм.} \cdot t_{\psi}} + E_n \frac{K_{екс.} + A_5 \cdot E_n}{\Pi_{екс.см.}} + W \frac{A_2 + A_6 \cdot E_n}{\Pi_{екс.зм.} \cdot t_{\psi} \cdot V_{ср.}}, \text{ грн.} \quad (16)$$

#### 4. Дослідження математичної моделі

З курсу вищої математики відомо, що якщо в деякій околиці точки  $M(x_0; y_0)$  виконано нерівність  $f(x; y) > f(x_0; y_0)$ , то кажуть, що функція має мінімум у точці  $M_0$ . При цьому точка  $M(x_0; y_0)$  називається точкою мінімуму, а відповідне значення функції – мінімумом. Якщо функція, що диференціюється, має екстремум в точці, то приватна похідна 1-го порядку в цій точці дорівнює нулю.

Продиференціювавши рівняння (16) і прирівнявши його нулю, отримаємо рівняння з якого визначимо оптимальну вантажопідйомність автосамоскидів, що забезпечать в процесі розробки ґрунту. Продуктивність екскаватора, відстань транспортування вантажу і швидкість автосамоскидів фіксована.

$$B'_{num.} = - \frac{A_3 \cdot g_{екс.} \cdot t_{зм.} \cdot V_{ср.} + W(A_1 + A_5 \cdot E_n)}{\Pi_{екс.зм.} \cdot g^2 \cdot t_{\psi} \cdot V_{ср.}} + \frac{A_2 + A_6 \cdot E_n}{\Pi_{екс.см.}}, \text{ грн./т;} \quad (20)$$

$$\frac{dB_{num.}}{dg} = 0;$$

$$-\frac{A_3 \cdot g_{екс.} \cdot t_{зм.} \cdot V_{ср.} + W(A_1 + A_5 \cdot E_n)}{\Pi_{екс.зм.} g^2 \cdot t_{ц} \cdot V_{ср.}} + \frac{A_2 + A_6 \cdot E_n}{\Pi_{екс.см.}} = 0, \text{ грн./т} \quad (21)$$

Підставивши рівняння (17) в рівняння (21) і виконавши перетворення, отримаємо

$$g_{опт.} = \sqrt{\frac{A_3 \cdot g_{екс.} \cdot t_{зм.} \cdot V_{ср.} + (g_{екс.} \cdot 2L + g_{екс.} \cdot t_{розв.} \cdot V_{ср.})(A_1 + A_5 \cdot E_n)}{(A_2 + A_6 \cdot E_n) \cdot t_{ц} \cdot V_{ср.}}}, \text{ т.} \quad (22)$$

## 5. Подання результатів дослідження з урахуванням змістової постановки задач

Рівняння (22) може бути оптимальною вантажопідйомністю автосамоскидів, що забезпечать мінімальні питомі приведені затрати під час роботи комплексу машин задіяних в процесі розробки ґрунту за умови виконання екстремуму. Оптимальні параметри складу машин можуть бути визначені графічною в програмному забезпеченні Mathcad.

Оптимальна кількість машин може бути отримана, підставивши рівняння (22) в рівняння (12):

$$N = 1 + \frac{(2L + t_{розв.} \cdot V_{ср.}) \cdot \sqrt{(A_2 + A_6 \cdot E_n) g_{екс.} \cdot t_{ц}}}{t_{ц} \cdot V_{ср.} \sqrt{A_3 \cdot t_{зм.} \cdot 2L + (2L + t_{розв.} \cdot V_{ср.})(A_1 + A_5 \cdot E_n) / V_{ср.}}}, \text{ автоск.} \quad (23)$$

Оптимальна вантажопідйомність і кількість автосамоскидів під час роботи з екскаватором суттєво залежить від техніко-економічних параметрів машин, що задіяні і відстані транспортування.

## 6. Графічна перевірка виконання екстремуму в програмному забезпеченні Mathcad

Задавшись значеннями з вихідних даних, визначмо оптимальну кількість і вантажопідйомність автосамоскидів аналітичним і графо-аналітичними методами в програмному забезпеченні Mathcad.  $t_{зм}$  позначено як  $t_1$ ;  $t_{ц}$  як  $t_2$ .

$$\begin{aligned} \gamma &:= 1.2 & q &:= 0.65 & K_i &:= 1.1 & L &:= 10 & t_1 &:= 6 & V &:= 50 & K_a &:= 1 & K_p &:= 1.05 & g &:= 0..7 \\ A_2 &:= 2.706 & A_3 &:= 0.246 & A_4 &:= 0.081 & A_6 &:= 3718 & E &:= 0.15 & t_2 &:= 0.00461 & A_1 &:= 20.4 \\ t_p &:= 0.005 & A_5 &:= 209.5 & C_e &:= 139.553 & K_e &:= 63198.2 \\ g_e &:= \frac{q \cdot K_i \cdot \gamma}{K_p} & \Pi &:= g_e \cdot \frac{t_1}{t_2} & \Pi &= 1.064 \times 10^3 \end{aligned}$$

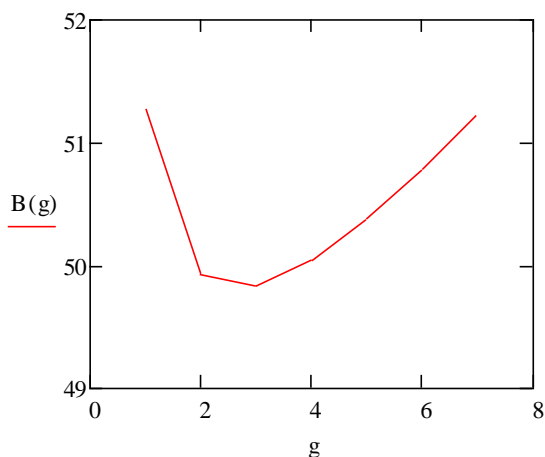
Визначення оптимальної вантажопідйомності автосамоскидів і їх кількості з формули (22) і (23) або (12)

$$gonm := \sqrt{\frac{A_3 \cdot g_e \cdot t_1 \cdot 2 \cdot L + \frac{g_e \cdot (2 \cdot L + t_p \cdot V) \cdot (A_1 + A_5)}{V}}{(A_2 + A_6 \cdot E) \cdot t_2}} \quad gonm = 6.228$$

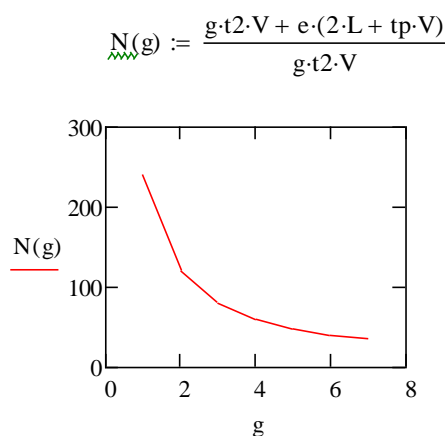
$$N := \frac{gonm \cdot t_2 \cdot V + g_e \cdot (2 \cdot L + t_p \cdot V)}{gonm \cdot t_2 \cdot V} \quad N = 12.527$$

Визначення оптимальної вантажопідйомності автосамоскидів і їх кількості з графіка побудованого по залежності (16) і (12)

$$B(g) := \frac{C_e + (A_1 + A_2 \cdot g) \cdot \frac{g \cdot t_2 \cdot V + (g_e \cdot 2 \cdot L + g_e \cdot t_p \cdot V)}{g \cdot t_2 \cdot V} + (A_3 + A_4 \cdot g) \cdot \frac{g_e \cdot t_1}{g \cdot t_2}}{\Pi} + E \cdot \frac{K_e + (A_5 + A_6 \cdot g) \cdot \frac{g \cdot t_2 \cdot V + (g_e \cdot 2 \cdot L + g_e \cdot t_p \cdot V)}{g \cdot t_2 \cdot V}}{\Pi}$$



$$g := 2 \quad g := \text{Minimize}(B, g) \quad g = 2.666 \quad B(g) = 49.811$$



Визначення кількості автосамоскидів по мінімальній вантажопідйомності з графіка

$$N_a := \frac{g \cdot t_2 \cdot V + g_e \cdot (2 \cdot L + t_p \cdot V)}{g \cdot t_2 \cdot V} \quad N_a = 27.931$$

Графічна перевірка показала, що результати отримані з графіків не співпадають з результатами отриманими залежності (22), а це вказує на те, що умова екстремуму не виконується. У цьому випадку оптимальну вантажопідйомність автосамоскидів треба визначати з графіка.

## Список літератури

1. Гаврюков А.В. Об эффективности новых способов и технических средств при ведении горных работ. //Уголь Украины. - 1993. - № 7. – С. 23-24.

2. Гаврюков О.В. Конспект лекцій з дисципліни «Комплексна механізація, автоматизація та механозабезпеченість будівництва» для студентів за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», за спеціалізацією «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, машини і обладнання» – Краматорськ: ДонНАБА, 2018. – 124 с.

**Техніко-економічні витрати на експлуатацію автосамоскидів**

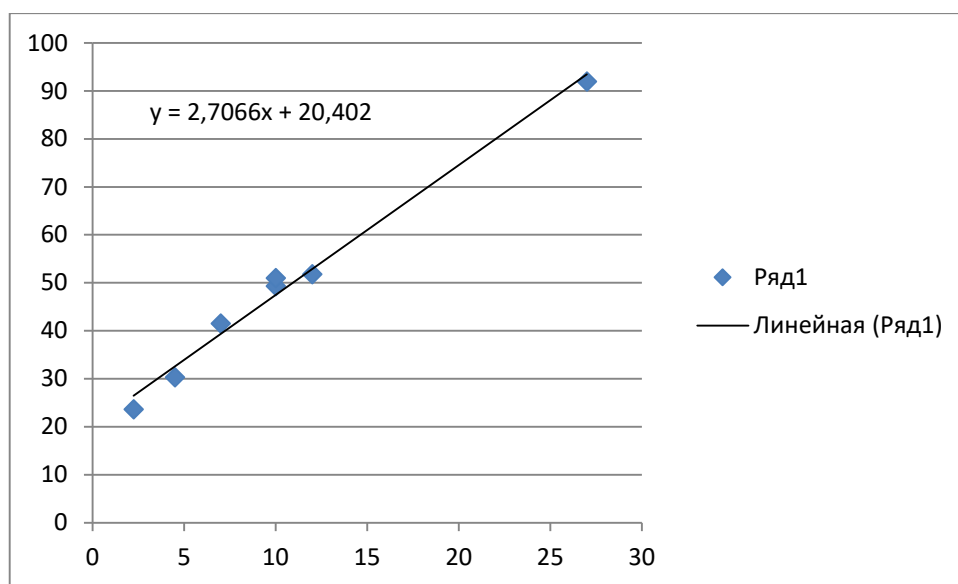
Вантажо- підйомність автосамос- кида $g$ , т	Вартість машино- зміни, яка не залежить від пробігу, $C'_a$ , тис.грв/зм.	Витрати, що припадають на 1 км пробігу $C''_a$ , тис.грв/(км/зм)	Інвентарно- розрахункова вартість $K_a$ , тис.грв.
2,25	23,638	0,303	7046,8
4,5	30,328	0,566	16100,6
7,0	41,567	0,785	28633,2
10,0	49,372	1,164	40898,2
10,0	51,022	1,218	38512,1
12,0	51,825	1,231	40184,6
27,0	91,965	2,357	100606,7

Таблиця 2

**Техніко-економічні витрати на експлуатацію екскаваторів**

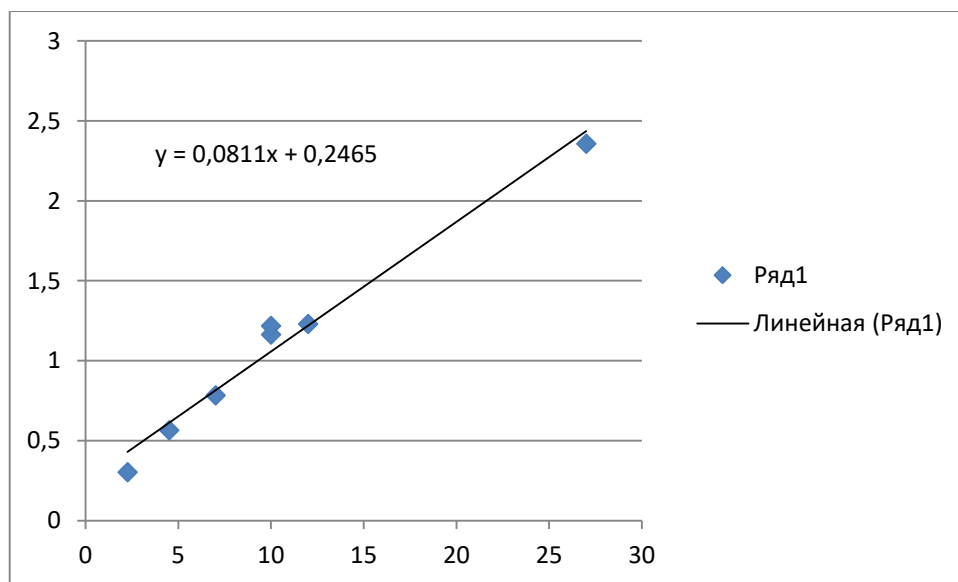
Місткість ковша $q$ , м <sup>3</sup>	Вартість маши- но-зміни $C_{екс}$ , тис.грв./маш.-зм.	Інвентарно- розрахункова вартість $K_{екс}$ , тис.грв	Тривалість робочого циклу $t_{ц}$ ,	
			с	год.
0,65	139,553	63198,2	16,6	0,00461
1,0	165,198	94440,5	17,6	0,00489
1,25	166,536	93660	18,8	0,00522
1,25	174,341	113127	18,8	0,00522
2,5	274,245	281559,8	21,6	0,006
4,6	448,631	563298	23,5	0,00652

## Кореляційно-регресивні графіки техніко-економічних показників машин



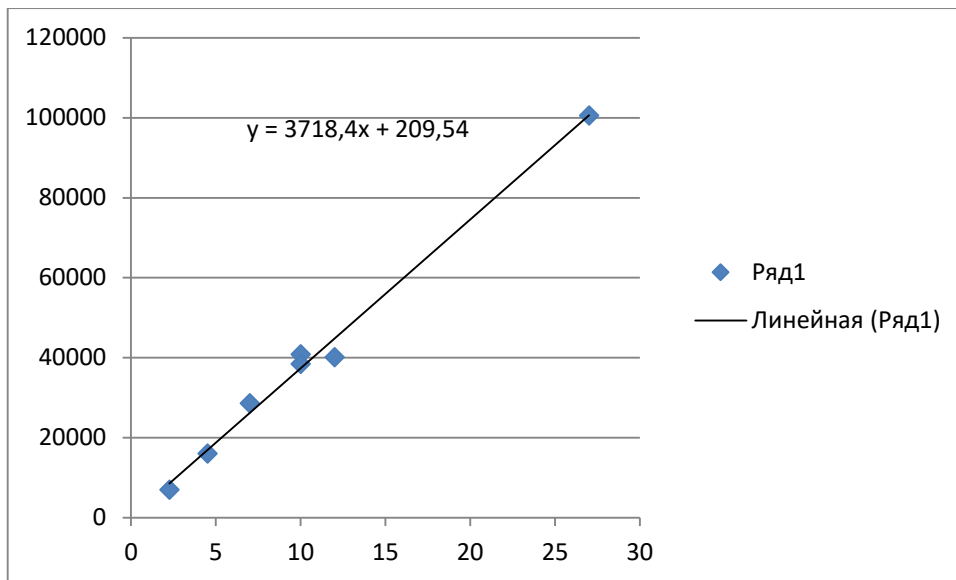
$$C'_a = A_1 + A_2 \cdot g = 20,4 + 2,706 \cdot g, \text{ грн.}$$

Рис. 1. Графік зміни вартості машино-зміни, яка не залежить від пробігу залежно від вантажопідйомності автосамоскиду з рівнянням регресії



$$C''_a = A_3 + A_4 \cdot g = 0,246 + 0,081 \cdot g, \text{ грн./км}$$

Рис. 2. Графік зміни вартості машино-зміни, що припадають на 1 км пробігу залежно від вантажопідйомності автосамоскиду з рівнянням регресії



$$K_a = A_5 + A_6 \cdot g = 209,5 + 3718 \cdot g, \text{ грн.}$$

Рис. 3. Графік зміни інвентарно-розрахункової вартості автосамоскиду залежно від вантажопідйомності з рівнянням регресії

Таблиця 3

### Характеристики ґрунтів

Найменування ґрунту	Категорія ґрунту	Щільність ґрунту $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт розпушення $K_p$
Пісок рихлий, сухий	I	1,2...1,6	1,05...1,15
Пісок вологий, сугінь, суглинок розпушений	I	1,4...1,7	1,1...1,25
Суглинок, середній і мілкий гравій, легка глина	II	1,5...1,8	1,2...1,27
Глина, щільний суглинок	III	1,6...1,9	1,2...1,35
Важка глина, сланці, суглинок зі щебнем, легкий скальний ґрунт	IV	1,9...2,0	1,35...1,5

Навчально-методичне видання

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ З ОПТИМАЛЬНИМ СКЛАДОМ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН**

Методичні вказівки  
до виконання курсової роботи з дисципліни  
«Комп'ютерне моделювання процесів та систем»  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти спеціальності 174 «Автоматизація  
та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
всіх форм навчання

Укладачі: **Гаврюков** Олександр Володимирович,  
**Іносов** Сергій Вікторович,  
**Самойленко** Микола Іванович;  
**Вольтерс** Андрій Олександрович

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 0,93. Обл.-вид. арк. 1,0  
Електронний документ. Вид № 61/V-24.

Виконавець і виготовлювач  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р