

УДК 519.81:69.002

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.114

МОДЕЛЬ ВИБОРУ МІНІЕКСКАВАТОРА ДЛЯ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ ЗА БАГАТЬМА КРИТЕРІЯМИ

Філь Н. Ю.¹, Ільге І.Г.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У роботі проведено аналіз проблеми вибору мініекскаваторів. Характерною особливістю мініекскаватора є невеликі розміри. У сучасних умовах постає проблема доцільного вибору мініекскаватора, виходячи з критеріїв необхідної функціональності й економічної ефективності. Уперше розроблено модель вибору мініекскаватора, яка, на відміну від наявних, дозволяє обрати будівельну машину за багатьма критеріями та обмеженнями. Подальші дослідження будуть спрямовані на практичну реалізацію моделі у вигляді програмно-методичного комплексу.

Ключові слова: мініекскаватор, критерій, обмеження, маса, потужність, витрати.

Вступ

Ринок використання мініекскаваторів в Україні стійко зростає. Насамперед це пов'язано з відновленням будівельної галузі, і якщо нові селища або багатоповерхові будинки вимагають потужної техніки, то роботи невеликого обсягу або в обмеженому просторі (наприклад, дорожньо-будівельні роботи на міських автодорогах) швидше та дешевше проводити за допомогою мінітехніки та мініекскаваторів зокрема [1].

Компактні й універсальні у використанні мініекскаватори використовуються для виконання будівельних, комунальних, дорожніх та інших видів робіт. Купуючи мініекскаватори, організації або приватні особи отримують продуктивне обладнання, здатне працювати на обмеженій площі та ділянках із різними перешкодами. У комплекті з технікою можна замовити додаткове навісне обладнання [2].

Під мініекскаваторами розуміють машини вагою від 0,8 до 8 т, однак ці межі розмиті, і виробники можуть випускати рішення з більшою тоннажністю. Техніку вагою до тонни іноді називають «мікроекскаватори» [3].

Розміри мініекскаватора і маневреність – їхня основна перевага. Вони незамінні в роботі на обмеженій території. Мініекскаватори оснащені гусеничним шасі, тому в них кращі прохідність і стійкість, вони роблять менший тиск на ґрунт. Таку техніку простіше перевозити й часто для цього не потрібне спеціальне обладнання або дозволу. Мініекскаватори мають вартість значно нижчу, ніж вартість повнорозмірних моделей [3].

У мініекскаваторів є недоліки. Наприклад, через гусеничне шасі в них низька швидкість

пересування (у середньому 2–5 км/год). Це звужує список можливого навісного обладнання. У мініекскаваторів менша глибина копання і маленьке зусилля на кромці ковша [3–4].

Мініекскаватори визначаються постійним зростанням попиту завдяки поєднанню непоганої маневреності, високої прохідності, мінімального тиску на ґрунт, значній глибині копання та висоті вивантаження, короткому робочому циклу, а також компактним габаритним розмірам і невеликій масі. Процес перевезення техніки цього класу дуже простий, не вимагає великовантажних трейлерів і погоджень з автоінспекцією. Цей тип техніки входить у модельний ряд найбільших світових виробників будівельної техніки – Case, Gehl, JCB, Komatsu, Kubota, Melroe, Volvo та ін.

Отже, у сучасних умовах постає проблема доцільного вибору мініекскаватора, виходячи з критеріїв необхідної функціональності й економічної ефективності. Вирішити цю проблему можна лише на основі аналізу масиву даних про зразки машин, представлених на ринку, використовуючи сучасні інформаційні технології.

Аналіз публікацій

Цей ще молодий клас техніки з'явився на автомобільних дорогах України не так давно, але до цього часу вже завоював велику популярність серед вітчизняних автошляховиків.

На ринку представлений великий вибір моделей мініекскаваторів різних виробників і вибір мініекскаватора за умови такого різноманіття стає складним.

У роботі [5] проведено аналіз експлуатаційних показників мініекскаваторів в умовах реальних будівельних об'єктів та їхніх конструктивних і технологічних параметрів. На основі аналізу й досвіду використання мініекскаваторів на різних будівельних об'єктах показані конкурентні переваги і недоліки застосування досліджуваних машин у будівельній галузі. Зроблено висновок про рентабельність використання машин із різними термінами експлуатації.

Для визначення норм і тривалості часу роботи на будівельних об'єктах мініекскаватора в роботі [6] використовується комп'ютерне моделювання.

Короткий огляд конструкцій навісних і причіпних мініекскаваторів, що випускаються за кордоном, приведено в роботі [7]. Показані можливі напрями розроблення мініатюрної землерийної техніки.

Щоб машина стала дійсно цінною одиницею автопарку, а її купівля – вигідним вкладенням коштів у розвиток і підвищення рентабельності бізнесу, до вибору моделі потрібно підійти з усією відповідальністю.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є підвищення ефективності процесу вибору мініекскаваторів за рахунок розроблення моделі вибору мініекскаватора за багатьма критеріями, яка дозволить скоротити час науково-обґрунтованого вибору.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз проблеми вибору мініекскаватора; розробити багатокритеріальну модель вибору мініекскаватора.

Загальна постановка задачі вибору мініекскаватора

Розглянемо основні критерії вибору мініекскаватора.

Перша характеристика, на яку варто звернути увагу, – маса мініекскаватора. У Європі за основу класифікації мініекскаваторів приймають масу техніки [8–9]. Маса техніки впливає на спосіб його транспортування на об'єкт.

Другим параметром є потужність. На мініекскаватори найчастіше встановлюються дизельні мотори, потужність і тяговитість яких у свою чергу визначають ходові якості, а також силу та гідравліку. Крім потужності двигуна у кВт, мають значення кількість циліндрів і крутильний момент.

Третій параметр – це кут повороту стріли. Стріла екскаватора кріпиться безпосередньо

до корпусу екскаватора або його кабіни і тримає плече з ковшем і навісним обладнанням. Існують різні конфігурації кріплення стріли. Наприклад, якщо стріла фіксована, то вона кріпиться безпосередньо до корпусу екскаватора і рухається тільки в разі поворотів машини. Якщо стріла рухома в горизонтальній проекції – це дає велику рухомість і маневреність під час викопування [8–9].

Крім того, є три варіанти вильоту хвоста кабіни мініекскаватора: нуль (нульовий виліт хвоста кабіни), мінімальний виліт і повний виліт. Техніку з повним вильотом важко використовувати в обмеженому просторі. Навпаки, система з нульовим вильотом хвоста кабіни ідеально підійде для обмеженого простору. Хоча і кабіни з мінімальним вильотом дають непоганий результат під час маневрування в замкнутому просторі [8–9].

Четвертий параметр – це висота вивантаження. Обраний мініекскаватор повинен піднімати ківш на необхідну висоту, щоб вивантажити його вміст. Невеликі мініекскаватори можуть мати висоту вивантаження тільки 2 м, тоді як більші можуть запропонувати висоту розвантаження близько 5 м [8–9].

П'ятий параметр – глибина копання. Необхідно точно знати максимальну глибину копання. Деякі великі мініекскаватори мають глибину копання до 5 м [8–9].

Шостий параметр – габаритна висота. Обраний мініекскаватор має проходити через будь-які вузькі проходи, щоб дістатися до робочого місця. Деякі невеликі мініекскаватори можуть пройти через ворота або навіть двері [8–9].

Як альтернативи розглянемо мініекскаватори класичного «екскаваторного» компонування. Ці мініекскаватори відповідають за функціональними можливостями більш габаритним екскаваторам, у яких є гусеничне ходове обладнання, робоче обладнання «зворотна лопата», поворот стріли щодо поворотної платформи в горизонтальній площині. Майже всі машини характеризуються джойстиком управління робочими операціями, автоматичним пристосуванням гідросистеми під робочі навантаження, поліпшеною звукоізоляцією кабіни та моторного відсіку, збільшеною площею скління кабіни, додатковим гідроконтуром підвищеної витрати з швидкоз'ємними муфтами. Техніка оснащується бульдозерним відвалом для розчищення майданчика та підвищення стійкості, змінними ковшами, гідромолотом і буровими штангами [8–9].

Розглянемо загальну постановку задачі вибору мініекскаватора.

Відомо: множина мініекскаваторів $W = \{W_j\}$, $j = \overline{1, j'}$ де j' – кількість мініекскаваторів, які розглядаються як альтернативи;

- кожен мініекскаватор характеризується технічними параметри: потужність P_j (кВт), маса M_j (кг), кут повороту стріли S_j (град), висота вивантаження V_j (мм), глибина копання G_j (мм), радіус обертання R_j (мм), габаритна висота H_j (мм),

- кожен мініекскаватор характеризується витратами на покупку, обслуговування та експлуатацію $C_j = C_j^n + C_j^o + C_j^e$, $j = \overline{1, j'}$.

Введемо змінну $X = \{0,1\}$, де $X_j = 1$ – якщо обрано j -й мініекскаватор, $X_j = 0$ – у протилежному випадку.

Необхідно обрати мініекскаватор з урахуванням заданих критеріїв і обмежень

Критеріями вибору мініекскаватора можуть застосовуватися:

- мінімальні витрати

$$C = \sum_{j=1}^{j'} C_j X_j \rightarrow \min, j = \overline{1, j'}; \quad (1)$$

- максимальна потужність мініекскаватора

$$P = \sum_{j=1}^{j'} P_j X_j \rightarrow \max, j = \overline{1, j'} \quad (2)$$

- мінімальна маса мініекскаватора

$$M = \sum_{j=1}^{j'} M_j X_j \rightarrow \min, j = \overline{1, j'}. \quad (3)$$

Область допустимих рішень задається такими обмеженнями:

- витрати не мають перевищувати $C_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} C_j X_j \leq C_{зад}; \quad (3)$$

- потужність мініекскаватора не повинна бути меншою за $P_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} P_j X_j \geq P_{зад}; \quad (4)$$

- маса мініекскаватора не має бути більшою ніж $M_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} M_j X_j \leq M_{зад}; \quad (4)$$

- кут повороту стріли S_j не повинен бути меншим за $S_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} S_j X_j \geq S_{зад}; \quad (5)$$

- висота вивантаження V_j не має бути меншою ніж $V_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} V_j X_j \geq V_{зад}; \quad (6)$$

- глибина копання G_j не повинна бути меншою ніж $G_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} G_j X_j \geq G_{зад}; \quad (7)$$

- радіус обертання R_j не має бути меншим за $R_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} R_j X_j \geq R_{зад}; \quad (8)$$

- габаритна висота H_j не повинна перевищувати $H_{зад}$

$$\sum_{j=1}^{j'} H_j X_j \leq H_{зад}; \quad (9)$$

- необхідно обрати тільки один мініекскаватор

$$\sum_{j=1}^{j'} X_j = 1. \quad (10)$$

Наведена модель (1)–(10) належить до задач багатокритеріального лінійного дискретного програмування з булевими змінними.

Для реалізації розробленої моделі пропонується використовувати: якщо розмірність мала – метод гілок і границь; для великої розмірності – метод випадкового пошуку

екстремуму, а також їхньої модифікації для задач такого напрямку [10].

Висновки

Отже, у роботі проведено аналіз проблеми вибору мініекскаваторів. Експлуатаційна маса мініекскаваторів становить до 8 т, що свідчить про високу потужність. Характерною особливістю є невеликі розміри – їхня конструкція компактна. Мініекскаватор має поворотну кабіну, яка підключена до механізму обертання стріли. Сучасні гідравлічні системи мініекскаватора забезпечують їхню високу продуктивність. Мініекскаватори є універсальними машинами та ідеально підходять для будь-яких умов праці. Мініекскаватори характеризуються низькими експлуатаційними витратами та простотою транспортування.

Уперше розроблено модель вибору мініекскаватора, яка, на відміну від наявних, дозволяє обрати машину за багатьма критеріями та обмеженнями. Подальші дослідження будуть спрямовані на практичну реалізацію моделі у вигляді програмно-методичного комплексу.

Література

1. Мигаль В.Д. Интеллектуальные системы в технической эксплуатации автомобилей: монография. Харьков, 2018. 262 с.
2. Вибираємо міні-екскаватор URL: https://lviv.sq.com.ua/ukr/news/novini_partneriv/10.10.2019/vibiraemo_mini_ekskavator/ (дата звернення: 10.09.2020).
3. Salih Korucu1, Ahmet Eren Kucuk, Gurcan Samtaş. Mini-excavator safety: toward innovative stability testing, procurement, and manufacture. *Journal of Construction Engineering and Management*. 137(12). P. 1125–1133 DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000383.
4. Edwards D.J., Holt G.D. (2010 c). Case Study Analysis of Construction Excavator H&S Overturn Incidents. *Engineering, Construction and Architectural Management*. Vol. 17, on. 5. P. 493–511.
5. Ананин В.Г., Эмилов А.Б. О рентабельности применения, достоинстве и недостатках мини-экскаваторов в промышленности и народном хозяйстве. *Символ науки*. 2016. № 6. С. 36–40.
6. Frank A. Bender, Simon Goltz, Thomas Braunl, Oliver Sawodny. (2017). Modeling and Offset-Free Model Predictive Control of a Hydraulic Mini Excavator. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, (14/4), pp. 1682–1694, DOI: 10.1109/TASE.2017.2700407.
7. Караваев В.И. Краткий обзор конструкций мини-экскаваторов. *Инженерные и социальные системы: сборник науч. трудов инженерно-строительного института ИВГПУ (Иваново, 01 февраля – 30 апреля 2017 г.)*. Иваново, 2017. С. 68–70.
8. Как и какой выбрать мини-экскаватор? URL: <https://bobcatrussia.ru/articles/kak-vybrat-mini-ekskavator> (дата звернення: 10.09.2020).
9. Какой мини-экскаватор купить: характеристики и особенности, на которые стоит обратить внимание. URL: <https://truckmix.ru/articles/nyjen-li-vam-mini-ekskavator-i-kak-ego-vibrat> (дата звернення: 10.09.2020).
10. Петров Э.Г., Брынза Н.А., Колесник Л.В., Пискалова О.А. Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности. Херсон, 2014. 192 с.

References

1. Migal V.D. Intellectual'ni sistemi v tekhnichnii ekspluatatsii avtomobiliv: monografiia [Intelligent systems in technical exploitation of automobiles]. Kharkiv: Maidan, 2018. 262 p.
2. Vibiraemo mini-ekskavato [We choose a mini-excavator] Available at: https://lviv.sq.com.ua/ukr/news/novini_partneriv/10.10.2019/vibiraemo_mini_ekskavator/ (accessed: 10 September 2020).
3. Salih Korucu1, Ahmet Eren Kucuk, Gurcan Samtaş. Mini-excavator safety: toward innovative stability testing, procurement, and manufacture. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(12), pp. 1125-1133. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000383/.
4. Edwards D.J. and Holt G.D. (2010c). Case Study Analysis of Construction Excavator H&S Overturn Incidents. *Engineering, Construction and Architectural Management*. Vol. 17, on. 5, pp. 493–511.
5. Ananin V.G., Emilov A.B. O rentabel'nosti primeneniia, dostoinstve i nedostatkakh mini-ekskavatorov v promyshlennosti i narodnom khoziaistve [About profitability of application, advantages and disadvantages of mini-excavators in the industry and a national economy]. *Simvol nauki - Symbol of science*, 2016, no. 6, pp. 36-40.
6. Frank A. Bender, Simon Goltz, Thomas Braunl & Oliver Sawodny. (2017). Modeling and Offset-Free Model Predictive Control of a Hydraulic Mini Excavator. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, (14/4), pp. 1682-1694, DOI: 10.1109/TASE.2017.2700407.
7. Karavaev V.I. Kratkii obzor konstruktssii mini-ekskavatorov [A brief overview of the construction of mini-excavators]. *Inzhenernye i sotsial'nye sistemy. [Engineering and social systems], Sbornik nauch. trudov inzhenerno-stroitel'nogo instituta. Ivanovo State Polytechnic Universit. [Collection of scientific works of the Civil Engineering Institute, Ivanovo State Polytechnic University]*, 2017, pp. 68-70.

8. Kak i kakoi vybrat' mini-eksikator? Available at: <https://bobcatrussia.ru/articles/kak-vybrat-mini-eksikator> (accessed: 10 September 2020).
9. Kakoi mini-eksikator kupit': kharakteristiki i osobennosti, na kotorye stoit obratit' vnimanie Available at: <https://truckmix.ru/articles/nyjen-livam-mini-eksikator-i-kak-ego-vibrat> (accessed: 10 September 2020).
10. Petrov E.G., Brynza N.A., Kolesnik L.V., Pisklakova O.A. Metody i modeli priniatia reshenii v usloviiakh mnogokriterial'nosti i neopredelennosti [Methods and models of decision-making in conditions of multicriteria and uncertainty]. Kherson, 2014. 192 p.

Філь Наталія Юрївна¹, к.т.н., доц. каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, тел. +38 068-617-76-94, fil_nu@i.ua.

Ільге Ігор Генріхович², к.т.н., доц. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, тел. +38 050-401-91-69, ilge_igor@ukr.net.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Модель выбора мини-экскаватора для дорожно-строительных работ по многим критериям

Аннотация. Рынок использования мини-экскаваторов в Украине устойчиво растет. Компактные и универсальные в использовании мини-экскаваторы используются для выполнения строительных, коммунальных, дорожных и других видов работ. В современных условиях возникает проблема целесообразного выбора мини-экскаватора, исходя из критериев необходимой функциональности и экономической эффективности. Решить эту проблему можно только на основе анализа массива данных об образцах машин, представленных на рынке. Целью работы является повышение эффективности процесса выбора мини-экскаваторов за счет разработки модели выбора мини-экскаватора по многим критериям, которая позволит сократить время научно-обоснованного выбора. **Методология.** Используются методы теории полезности и методы принятия решения для выбора мини-экскаваторов по многим функциональным и стоимостным критериям. Рассмотрены основные параметры мини-экскаваторов, которые влияют на их выбор. Разработана модель выбора мини-экскаватора по многим функциональным и стоимостным критериям и ограничениями. Разработанная модель относится к задачам многокритериального линейного дискретного программирования с булевыми переменными. **Практическая ценность.** Использование разработанной модели выбора мини-экскаватора по многим

функциональным и стоимостным критериям позволит сделать выбор научно-обоснованным.

Ключевые слова: мини-экскаватор, критерий, ограничения, масса, мощность, расходы.

Філь Наталія Юрївна¹, к.т.н., доц. каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, fil_nu@i.ua, тел. +38 068-617-76-94.

Ільге Ігорь Генрихович¹, к.т.н., доц. каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, +38 050-401-91-69, ilge_igor@ukr.net.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Model of choosing a mini-excavator for road construction work according to many criteria

Abstract. Problem. Currently a steady growth of mini-excavator market is observed in Ukraine. Due to the compactness and versatility in exploitation mini-excavators are used for carrying out building, municipal, road and other types of works. However, in modern conditions there is a problem of the reasonable choice of a mini-excavator using the criteria of necessary functionality and economic efficiency. This problem can be solved only on the basis of analysis of the data array on machine samples available on the market using modern information technology.

The aim of the work is to increase the efficiency for the process of choosing a mini-excavator by developing a multi-criteria choosing model, which will reduce the time of scientifically grounded selection.

Methodology. Utility theory methods and multi-criteria decision-making methods are used to select mini-excavators according to many functional and cost criteria. **The results obtained.** The main parameters of mini-excavators that impact their choice are considered. A model for choosing a mini-excavator based on many functional and cost criteria and limitations has been developed. The model developed belongs to the problems of multi-criteria linear discrete programming with Boolean variables. **Practical value.** The use of the developed model for choosing a mini-excavator based on many functional and cost criteria will allow to make a scientifically grounded choice.

Key words: mini-excavator, criteria, limitations, weight, power, costs.

Nataliya Fil¹, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, tel. +38 068-617-76-94, fil_nu@i.ua,

Igor Ilge¹, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, tel. +38 050-401-91-69, ilge_igor@ukr.net.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.