

УДК 621.873.11

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.129

## ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОСНОВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ КРОКУЮЧОГО РУШІЯ ПОТУЖНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

Фідровська Н. М.<sup>1</sup>, Ярижко О. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Крупко І. В.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>ТОВ ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

*Анотація.* Розглянуто особливості конструкції та процесу пересування технологічних машин, обладнаних чотирьохопорним крокуючим рушієм, із методикою визначення основних параметрів такого механізму. Показано фактори, що впливають на роботу привода такого механізму, їх вплив на ефективність та показано основні шляхи удосконалення такого механізму пересування.

*Ключові слова:* крокуючий рушій, екскаватор, технологічні машини, ексцентриковий привід, замкнутий кінематичний контур, стійкість.

### Вступ

Сучасні мобільні технологічні машини в кар'єрах виконують значні обсяги робіт, пов'язаних із видобутком, переробкою і транспортуванням корисних копалин та гірських порід; при цьому вони, як правило, мають ходові механізми, що забезпечують їх пересування та безпечне виконання технологічних операцій. Для потужних технологічних машин кар'єрів в останній час застосовують гусеничне і крокуюче ходове обладнання. Дослідження процесу пересування машин із крокуючим ходом відбувається по декількох напрямках, а саме йдеться про розробку гідравлічних механізмів пересування (на екскаваторах ЕК-15/90, ЕК-100/100 та ін..) та трьохопорних кривошипно-важільних механізмів (ЕК-6/45, ЕК-11/70, ЕК-20/50), а також відвалоутворювачів і пересувних дробарок. Розроблено і запатентовано на ПрАТ НКМЗ чотирьохопорний механізм пересування [1]. Конструкція привода такого механізму є досить складною й потребує досліджень обґрунтування параметрів привода та процесів взаємодії окремих елементів кінематичної схеми між собою та стійкості екскаватора за різних умов роботи тощо.

### Аналіз публікацій

При розробці чотирьохопорного крокуючого рушія вирішувались задачі з підвищення надійності механізму та зниження енергоємності процесу пересування [3].

Особливістю привода цього механізму (рис. 1) є замкнута кінематична схема привода, в якій від одного двигуна через передатні механізми забезпечується передача крутного

моменту на ексцентрики, що приводять до переміщення двох опор попарно.

Проведені теоретичні [4] й експериментальні [5] дослідження показали працездатність такого механізму. Проведено порівняльний аналіз із технічного рівня [6] з існуючими механізмами пересування гірничо-транспортних машин, що він має цілий ряд переваг перед гусеничними та трьохопорними механізмами.

### Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є обґрунтування основних напрямів підвищення ефективності чотирьохопорного крокуючого рушія за рахунок удосконалення системи привода й опорного обладнання.

У процесі проведення теоретичних досліджень розроблено математичну модель, були обґрунтовані основні силові та кінематичні параметри привода крокуючого рушія, а на основі експериментальних досліджень на моделі чотирьохопорного крокуючого рушія було виявлено і ряд недоліків, до яких в першу чергу можна віднести: складну кінематичну схему привода, яка має два замкнуті силові контури (рис. 1), в яких жорстко з'єднані передатні механізми із приводними ексцентриками опор, що може привести до неконтрольованого перерозподілу силових потоків, а відповідно, і до підвищеного зносу зубчастих передач; другим суттєвим недоліком запропонованої конструкції є відсутність обґрунтування параметрів опорної бази та рекомендацій з визначення стійкості машин під час виконання окремих технологічних операцій, наприклад копання ґрунту екскава-

тором при різних кутах установки робочого обладнання та за можливості розміщення транспортно-відвального обладнання на відвалоутворювачах типу ОШ-1.2-110/40-36, пересувних дробарках та самохідних бункерах 5С-120. Таким чином, виникає необхідність подальших досліджень, як кінематики привода, так і загартування стійкості машин за різних умов роботи.

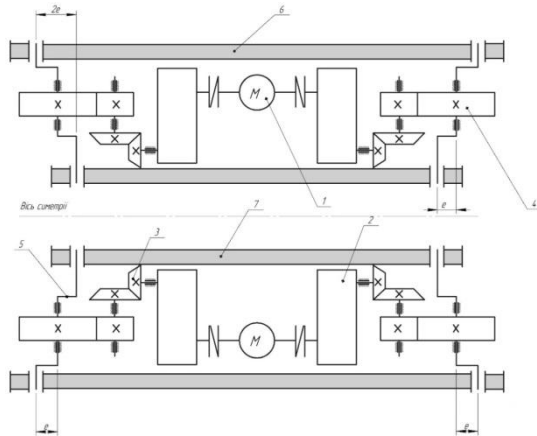


Рис. 1. Кінематична схема моделі крокуючого чотирьохопорного механізму: 1– електродвигун із двома вихідними валами; 2– редуктори; 3– конічні передачі; 4– відкриті зубчасті передачі; 5 – вали; 6, 7 – опорні башмаки

### Матеріали досліджень

Принцип роботи чотирьохопорного крокуючого рушія полягає в тому, що у процесі крокування машина опирається як мінімум на дві лижі (або внутрішні, або зовнішні). Під час копання спираючись на опори служать всі чотири лижі, тим самим зменшуються значення середніх питомих тисків на ґрунт під час копання, що є позитивним фактором. Процес крокування показує, що за один оберт приводних валів із двома ексцентриками машина пересувається на шлях, рівний величині ексцентриситету приводного вала, а цикл крокування залежить від кутової швидкості кута повороту приводних коліс (рис. 2) і його можна умовно розділити на два періоди: а) перший – при повороті ексцентрика на кут від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  – екскаватор спирається на внутрішні лижі, а зовнішні разом із рамою піднімаються, а потім опускаються; б) другий, коли кут повороту змінюється від  $180^\circ$  до  $360^\circ$  – екскаватор спирається на зовнішні лижі, а внутрішні разом із рамою і поворотною платформою піднімаються, а потім опускаються.

Зовнішні розміри опорного контуру (периметра), що визначають стійкість машини у процесі копання під час стопоріння механізму підйому у пропонованому крокуючому ході приблизно такі, як і в гусеничного механізму, а опорна поверхня під час копання удвічі більше за умови, що параметри кожної опорної лижі дорівнюють параметрам гусениці. При повороті верхньої платформи екскаватора рівнодіюча сил тяжіння машини переміщується по дузі радіуса « $r$ » (де  $r$  – вибіг рівнодіюча сил тяжіння). Зазвичай радіус « $r$ » приблизно дорівнює або менше радіуса опорно-поворотного кола платформи і не повинен виходити за периметр опорного контуру. Під час крокування у разі, коли рівнодіюча перебуває над однією з бічних сторін машини (стріла з рукояттю і ківшом розташована поперек машини), машина спирається на внутрішні лижі, рівнодіюча не повинна виходити за межі внутрішніх лиж машини. Обґрунтування навантажень на опорно-ходове обладнання, що виникають у процесі роботи технологічних машин, можна провести за методикою, в якій враховані геометричні параметри опорного контуру машини  $L_i$ , деформація ґрунту під опорами  $h$ , коефіцієнт податливості ґрунту  $k$  та площа опорної поверхні  $F$ , величина рівнодіючої вертикальних навантажень  $P$ , тобто стійкість машини  $C$  можна представити як функцію від указаних параметрів:

$$C = f \cdot (P, L_i, h, F, k). \quad (1)$$

Дослідження стійкості показали, що під час проектування пропонованого крокуючого ходу бажано збільшити відстань між внутрішніми лижами по змозі до максимуму, навіть якщо це призведе до збільшення поперечних розмірів рами і ходового пристрою в цілому; тим більше, що стійкість машини в поперечному напрямку, в тому числі й під час копання в забої, тільки збільшиться.

Теоретичні дослідження показали, що під час потрапляння під лижу абсолютно необпертого тіла, або спираючись на нерівну поверхню, ймовірність «похитування» знижується за рахунок появи додаткової точки опори. Для зменшення такого ефекту було запропоновано розділення лиж на дві частини, з'єднаних з обох кінців опорними елементами за рахунок шарніра [2].

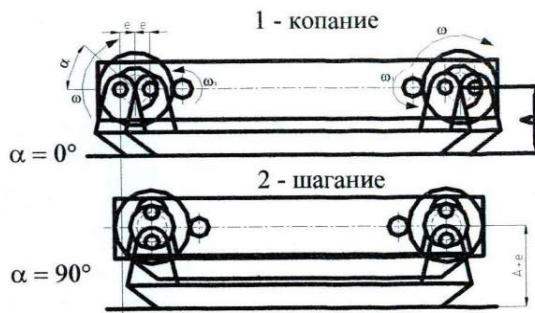


Рис. 2. Чотирьохопорний механізм крокування

Поворот машини може здійснюватися наступними способами:

- за рахунок включення одного привода, тобто за рахунок роботи лижами однієї бічної сторони машини;
- за рахунок включення приводів правого і лівого боків машини з різними швидкостями в одному напрямку;
- шляхом переміщення лиж на кожній з бічних сторін машини у протилежні сторони.

Аналіз конструкції, принципу й умов роботи чотирьохопорного крокуючого механізму показав, що його основними перевагами є простота конструкції опорної ходової частини, порівняно низька собівартість при виготовленні й експлуатації (наприклад відсутність швидкозношуваних шарнірних з'єднань, як у гусеничних рушіях), що веде до зниження експлуатаційних витрат на ремонт і відновлення працездатності.

Теоретичні дослідження, підтвержені значною кількістю експериментів на діючій моделі, показали, що основні параметри привода чотирьохопорного рушія можна визначити в залежності від маси технологічної машини і швидкості пересування за наступними залежностями:

- лінійна швидкість пересування машини  $V_e$  без урахування можливого прослизання відносно поверхні ґрунту:

$$V_e = 240 \cdot n_{ge} \cdot e, (м / год^{-1}), \quad (2)$$

де  $n_{ge}$  – частота обертання вала електродвигуна,  $хв^{-1}$ ;  $e$  – ексцентриситет вихідного вала передатного механізму, м;

- масу машини (наприклад екскаватора) можна визначити за наступними залежностями:

$$G_e = k_e \cdot \sqrt[3]{E}, (кг),$$

де  $k_e$  – коефіцієнт пропорційності для екскаваторів;  $E$  – місткість ковша екскаватора,  $м^3$ ;

- ексцентриситет приводного вала можна задавати в межах  $e \geq (0,1 \dots 0,3)м$ , але при цьому необхідно враховувати, що величина ексцентриситету « $e$ » впливає на висоту та зусилля підйому екскаватора, що, у свою чергу, веде до збільшення енергоємності процесу пересування машини;

- максимальний крутний момент на вихідному валу одного з електродвигунів  $M_{кр\max}$  визначається за залежністю:

$$M_{кр\max} = G_e \cdot e \cdot U_{\Sigma}^{-1} \cdot \eta^{-1} \cdot m^{-1} (кНм), \quad (3)$$

де  $U_{\Sigma}^{-1}$  – сумарне передатне число механізму;  $m$  – кількість електродвигунів у структурі привода;  $\eta$  – ККД передатного механізму.

- потужність кожного з електродвигунів  $P_{ов}$ , визначається в залежності від максимального крутного моменту:

$$P_{ов} = M_{кр\max} \cdot \omega_{ек} \cdot \eta^{-1}, (кВт), \quad (4)$$

де  $\omega_{ек}$  – кутова швидкість вала ексцентрика,  $с^{-1}$ .

- кінематичні параметри, а саме кутова швидкість ексцентрика і частота обертання вала ексцентрика залежать від частоти обертання вала  $n_{ов}$  електродвигуна та сумарного передатного числа механізму  $U_{\Sigma}$ ;

$$\begin{aligned} \omega_{ек} &= 30\pi \cdot n_{ов} \cdot U_{\Sigma}^{-1}, (с^{-1}) \\ n_{ек} &= n_{ов} \cdot U_{\Sigma}^{-1}, (об / хв^{-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

- динамічні навантаження, що діють на опору  $F_{дин}$  визначаються за залежністю:

$$F_{дин} = G_m \cdot a_{\max} \cdot n_l \cdot g, (кН), \quad (6)$$

де  $a_{\max}$  – максимальне прискорення у випадку «опускання» машини на лижі (опори),  $мс^{-2}$ ;

$n_l$  – кількість опор, на які опирається машина.

Інші силові й кінематичні параметри, визначені за відомими залежностями, дозволили розрахувати параметри чотирьохопорного привода стосовно екскаватора кар'єрного ЕКГ-10 масою 400 т. На основі теорії підіб-

ності та закономірностей побудови фізичних моделей було виготовлено модель крокуючого рушія із прийнятим лінійним масштабом  $k_e = 10$ . За розробленою методикою було проведено всесторонні експериментальні дослідження кінематичних, електричних і силових параметрів [5], які дозволили перевірити працездатність чотирьохопорного крокуючого рушія та визначити його переваги і недоліки, в порівнянні з іншими механізмами пересування.

Серед основних недоліків привода такого механізму було виявлено значний знос зубчастих передач та появу тріщин в корпусах редукторів, що дозволило порівняти процеси, які протікають під час роботи такого привода з багатодвигунним приводом робочих органів роторних екскаваторів. Аналогічні явища були відмічені також у дводвигунних приводах робочих органів екскаваторів [7], а характер руйнувань елементів привода дозволяє припускати, що вони «викликані неврахованими у процесі проектування динамічними навантаженнями, які виникають у розгалуженій частині передатного механізму». Основними напрямками зниження таких динамічних навантажень можуть бути наступні конструктивні рішення:

- збільшення синхронності взаємодії зубчастих пар за рахунок зменшення відносного здигу фаз зубчастих зчеплень у редукторах і відкритих передачах;

- встановленням у муфтах пружних елементів різної жорсткості;

- встановленням гідродинамічної муфти з жорсткою характеристикою.

Ці удосконалення конструкції дозволять значно знизити динамічні навантаження на елементи привода та підвищити ефективність його роботи.

### Висновки

Таким чином, розглянуті нами особливості роботи чотирьохопорного крокуючого механізму дозволили встановити залежності для визначення параметрів рушія та виявити ряд можливих напрямів з удосконалення конструкції привода, серед яких можна відзначити:

- підвищення стійкості технологічних машин на основі урахування параметрів опорно-ходових елементів, навантажень на них та процесу взаємодії з ґрунтом;

- зниження динамічних навантажень на елементи передатних механізмів та зниження

зносу зубчастих передач за рахунок встановлення пружних елементів.

### Література

1. Пат. України UA.46019.C2 Крокуючий хід переважно для важких кар'єрних – екскаваторів – лопат / Марченко А. І., Буренко О. Г., Калашніков О. Б., Літвінов Л. І.; заявник і патентовласник ЗАТ НКМЗ. – № 97105194; заявл. 24.02.99; опубл. 15.05.09. Бюл. № 5. – С. 6.
2. Пат. Україна, МПК E02F 3/00. Крокуючий механізм /Крупко І. В., Пенчук В. О., Сіменченко А. К.; заявник і патентовласник ДДМА. – № u 2010 09174; заявл. 21.07.2010.
3. Пенчук В. А. Расчетно-теоретическое обоснование мощности привода четырехопорного шагающего механизма передвижения / В. А. Пенчук, И. В. Крупко // Вестник ДоНА-СА. – Макеевка, 2008. – С. 165–169. – (Вып. 2008-3 (71)).
4. Крупко И. В. Исследование силовых и кинематических параметров в четырехопорном шагающем двигателе экскаватора / И. В. Крупко // Сборник научных трудов. – Алчевск : ДГТУ, 2010. – № 1. – 592 с.
5. Пенчук В. А. Обоснование параметров физической модели четырехопорного шагающего механизма передвижения / В. А. Пенчук, А. Г. Буренко, И. В. Крупко // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – С. 40–47. – (Вып. 88).
6. Бондаренко Т. Р. Оценка технического уровня механизмов передвижения мощных экскаваторов / Т. Р. Бондаренко, И. В. Крупко // Вестник Восточноукраинского национального университета (СНУ) им. Владимира Даля : научный журнал. – Луганск, 2009. – № 5 (135). – С. 175–179.
7. Чудновский В. Ю. Механика роторных экскаваторов / В. Ю. Чудновский. – Иерусалим : МИКА К.А., 2002. – 329 с.

### References

1. Pat. Marchenko AI, Burenko OG, Kalashnikov OB, Litvinov LI; applicant and patent owner of CJSC NKMZ. - № 97105194; заявл. 24.02.99; pub. 05/15/09 Bull. № 5. - P. 6.
2. Pat. Ukraine, IPC E02F 3/00. Stepping mechanism / Krupko IV, Penchuk VO, Simenchenko AK; applicant and patent owner of the DSEA. – № in 2010 09174; declared 21.07.2010
3. Penchuk V.A. and Krupko I.V., “Computational-theoretical substantiation of the drive power of a four-support stepping mechanism,” Vestnik DoNA-SA. – Makeevka, 2008. – P. 165–169. - (Issue 2008-3 (71)).
4. Krupko I.V. Investigation of force and kinematic parameters in a four-support stepping engine of an excavator / IV Krupko // Collection of scien-

- tific works. – Alchevsk: DSTU, 2010. – № 1. – 592 с.
5. Penchuk V.A, Burenko A.G, and Krupko I.V, “Substantiation of the parameters of the physical model of a four-support walking mechanism of motion,” Zb. Science. wash. – Kharkiv: UkrDAZT, 2008. – P. 40–47.
  6. Bondarenko T.R Estimation of the technical level of mechanisms of movement of powerful excavators / TR Bondarenko, IV Krupko // Bulletin of the East Ukrainian National University (SNU). Vladimir Dahl: scientific journal. - Lugansk, 2009. – № 5 (135). – P. 175–179.
  7. Chudnovsky V. Yu. Mechanics of rotary excavators / V. Yu. Chudnovsky. – Jerusalem: – MIKA KA, 2002. – 329 p.

**Фідровська Н.М.**, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, тел. (050)478-03-53

**Яришко О.В.**, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків,

**Крупко І.В.**, к.т.н., доцент,  
ТОВ ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

вул. Сеченова, 71а, м. Маріуполь,  
тел. +38050-914-25-08, ivkrupko@gmail.com

### **Features of the construction and justification of the main parameters of the walking movement mechanism technological machines**

***Abstract.** The peculiarities of the design and process of movement of technological machines equipped with a four-axle stepping motor with the method of determining the main parameters of such a mechanism are considered. The factors influencing the operation of the drive of such a mechanism, their impact on efficiency and the main ways to improve such a mechanism of movement are shown.*

***Key words:** walking propulsion, excavator, technological machines, eccentric drive, closed kinematic circuit, stability.*

**Fidrovskaya N.M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor

Kharkiv National Automobile and Road University, st. Yaroslav the Wise, 25, 61002, Kharkiv, tel. (050)478-03-53

**Yarizhko O.V.**,

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine

**Krupko I.V.**, Ph.D., Associate Professor, LLC TU "METINVEST POLYTECHNICS" street Sechenova, 71a, Mariupol, Ukraine, +38050-914-25-08