

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕСУВАННЯ ПІДЙОМНО-ТАНСПОРТНИХ І ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН МЕТОДАМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Крупко В. Г.¹, Крупко І. В.², Рукавишников Ю. В.³

¹Пріязовський державний технічний університет

² ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

³Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуті питання вдосконалення механізмів пересування технологічних машин (стрілових кранів та кар'єрних екскаваторів). На основі аналізу конструкції гусеничних і крокуючих рушіїв розроблена методика, яка містить теоретичні дослідження, здійснені за допомогою математичних моделей, що дає змогу обґрунтувати параметри та конструкцію опорних елементів рушіїв та дозволяє знайти способи їх удосконалення. Так, для гусеничних рушіїв обґрунтовані навантаження на опорні елементи (траки) та визначені напрями підвищення їхньої міцності. Для крокуючих механізмів кранів обґрунтована поверхність опорної лижі з додатковими елементами у вигляді шевронних зубців, що дає змогу збільшити коефіцієнт зчеплення лижі з ґрунтом. Розроблені рекомендації для підприємств, що експлуатують і виготовляють гусеничні та крокуючі рушії.

Ключові слова: підйомно-транспортні машини, землерийні машини, моделювання, опорні елементи, трак, екскаватор, механізм, рушій, елементи привода, лижса.

Вступ

У виробничих і транспортних галузях значна увага має приділятися розробленню нових та вдосконаленню вже наявних технічних систем (механізмів, машин, їхніх комплексів, приводів або окремих елементів), що потребує проведення значних обсягів наукових досліджень. Сучасні тенденції розвитку методів досліджень зазвичай складаються з декількох етапів: від реалізації задуму до отримання результатів та створення або вдосконалення наявних технічних систем. Тому вдосконалення методів і процесів досліджень, які можуть забезпечити отримання кінцевих результатів, є досить актуальним науково-технічним завданням, а одним із напрямів його вирішення є дослідження та створення технічних систем методами моделювання.

Аналіз публікацій

Питання створення й дослідження механізмів пересування гірничих машин досліджують підприємства, наукові організації і заклади вищої освіти, зокрема ДП «Донгіпровуглемаш», УкрНДІпроект, Інститут геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова АН України, ЗАТ Новокраматорський машинобудівний завод, Донецький національний технічний університет, Донбаська державна машинобудівна академія, Київський націона-

льний університет будівництва й архітектури.

Аналіз літературних джерел, патентних матеріалів, конструктивних схем і результатів досліджень [1, 2] демонструє, що в сучасних методиках наводять обґрунтування конструктивних і силових параметрів крокуючих трьохопорних механізмів пересування, принцип роботи яких відрізняється від чотирихопорних. Основна відмінність полягає в тому, що в чотирихопорних механізмах відсутнє переміщення опорної бази вздовж ґрунту, наявні методи повною мірою не враховують особливості формування навантаження на ексцентриковий привід і опорні елементи, обумовлені конструкцією рушії. Ці питання потребують подальших теоретичних і експериментальних досліджень.

Мета та постановка завдання

Метою цієї роботи є застосування математичного та фізичного моделювання для створення нових та вдосконалення наявних конструкцій механізмів пересування їх і їхніх опорних елементів з огляду на технологічні процеси і вплив зовнішнього середовища на їхню роботу.

Методика досліджень містить такі основні етапи:

- розроблення структурних схем підйомно-транспортних та землерийних машин і

окремих механізмів та елементів з метою визначення взаємозв'язку між окремими елементами систем і системами механізмів;

- обґрунтування параметрів окремих систем, розроблення еквівалентних схем і математичних моделей окремих механізмів та їхня функція під час роботи машини;

- розроблення математичних (динамічних) і імітаційних моделей, теоретичне дослідження окремих систем;

- обґрунтування визначальних параметрів цих систем та комп'ютерне моделювання їхніх окремих елементів;

- фізичне моделювання механічних систем машин, зовнішнє моделювання, експериментальні дослідження;

- перевірка адекватності теоретичних і експериментальних досліджень та розроблення рекомендацій.

Таким чином, загальну схему досліджень механізмів пересування можна визначити так:

аналіз технологічного процесу та взаємодія машини з зовнішнім середовищем з подальшим розробленням структури технічної системи – побудова математичної моделі – створення імітаційної та комп'ютерної моделі (єї) технічної системи або її окремих елементів – побудова фізичної моделі – оброблення результатів та їхній аналіз з перенесенням результатів на реальні машини.

Як приклад можна використати дослідження раціональної конструкції опорних елементів гусеничних і крокуючих механізмів стрілових кранів і однокішшевих екскаваторів [3,4].

Під час дослідження гусеничних рушіїв об'єктом дослідження навантажень на опорні елементи є екскаватор кар'єрний гусеничний з ємністю ковша 10 м³ та стріловий кран з вантажопідйомністю до 10 т.

Моделювання процесів взаємодії опорних елементів землерийних машин і кранів

Гусеничний візок екскаватора за типом є жорстким малоопорним, гусеничні ланки в такому випадку легко прогинаються між катками, згинаючись в шарнірах, утворюючи хвилясту лінію, створюючи значну різницю між тиском під опорними катками та між ними. Тому такий тип гусеничного рушіїв може застосовуватися для переміщення вздовж порід з великою несною здатністю (вздовж міцних ґрунтів).

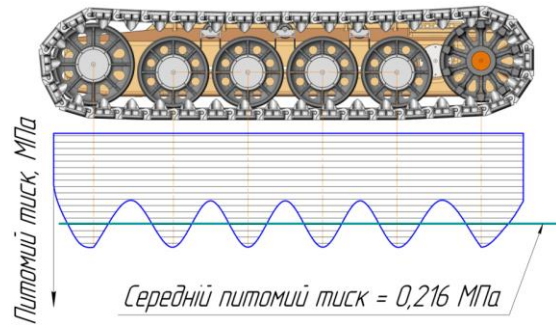


Рис. 1. Гусеничний візок ЕКГ-10

Дослідження напружено-деформованого стану здійснюють за допомогою методу кінцевих елементів відповідно до законів і залежностей теорії пружності Ландау. Перевірка результуючих напруг здійснюється за критерієм руйнування, зокрема за критерієм максимальних напруг за Мізесом.

Критерій максимального напруження за Мізесом ґрунтується на теорії Мізес-Хенкі (Mises-Hencky), також відомої як теорія енергії формозміни, [1].

В обчисленні головних напружень $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ напругу за Мізесом можна записати так:

$$\sigma_{vonMises} = \left\{ \frac{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}{2} \right\}^{\frac{1}{2}};$$

відповідно до теорії, на пластичному матеріалі можуть бути пошкодження в місцях, де напруга за Мізесом дорівнює граничній напрузі. У більшості випадків межа плинності використовується як граничне напруження:

$$\sigma_{vonMises} > \sigma_{\text{граничне}}.$$

Межа плинності – властивість, яка залежить від температури. Справжня задана величина межі текучості має враховувати температуру компонента. Коефіцієнт запасу міцності становить

$$(FOS) = \frac{\sigma_{\text{граничне}}}{\sigma_{vonMises}}.$$

Для дослідження використовується найгірший розрахунковий випадок, коли трак подано як балку, яка опирається в двох точках рівновіддалених від точки прикладення напруги [3].

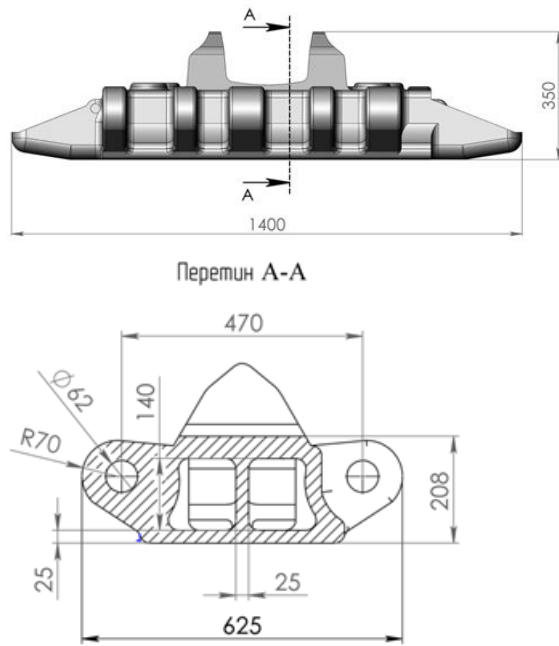


Рис. 2. Параметри гусеничної ланки ЕКГ-10

Під час моделювання траків можна дійти висновку, що розподіл навантажень вздовж поперечного перетину нерівномірний, що призводить до руйнування траків у процесі експлуатації. З точки зору технологічності конструкція є малотехнологічною, складною у виготовленні, вона майже не підлягає ремонту, оскільки ресурс деталі після можливого ремонту зварюванням та наплавленням не значний, але потребує великих капіталовкладень та трудових витрат.

Сучасні стрілові крани як механізми пересування можуть мати колісні, гусеничні та крокуючі рушії. Крокуючі механізми є найменш дослідженими під час застосування в різних умовах експлуатації, тому дослідження щодо визначення опорних елементів та дослідження залежностей опору пересування цього класу машин є актуальним завданням [4].

Опір пересуванню крокуючого стрілового крана залежить від таких факторів: вантажопідйомності (Q); ваги крана (G); кута нахилу робочого майданчика, вздовж якого переміщується кран (γ); коефіцієнта взаємодії опорної поверхні лиж крокуючого крана з ґрунтом ($k_{вз}$); коефіцієнта опору тертя, залежно від типу ґрунту ($k_{тр}$); вітрових навантажень ($F_{в}$); геометричних розмірів ходової частини.

Розрахункова схема визначення опору пересування крокуючого крана наведена на рис. 3.

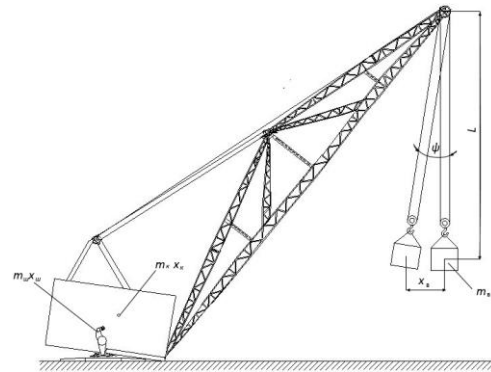


Рис. 3. Розрахункова схема переміщення крана

Загальний опір пересуванню крана [2]:

$$\sum F = 1,2F_{тр} + F_{в} + F_{\gamma} + F_{гр},$$

де $F_{тр}$ – опір тертю крокуючого ходу під час переміщення; $F_{в}$ – опір від вітрового навантаження; F_{γ} – опір руху від ухилу робочого майданчика; $F_{гр}$ – опір пересуванню через деформацією ґрунту.

Опір тертя крокуючого стрілового крана під час переміщення без вантажу та з вантажем:

$$F_{тр} = f_{\phi} G \cos \gamma;$$

$$F_{тр} = f_{\phi} (G + Q) \cos \gamma_1,$$

де f_{ϕ} – коефіцієнт зчеплення, що враховує форму опорної поверхні лиж крана; G – вага крана; Q – вага вантажу; γ – кут нахилу під час пересування без вантажу $\gamma = 25^\circ$, $\gamma_1 = 10^\circ$ – з вантажем.

Для розподілу поздовжніх реакцій ґрунту вздовж передніх боків опорних елементів лиж використовується лінійний закон [5].

Застосуємо лінійний закон під час розрахування максимального коефіцієнта зчеплення лиж крокуючого рушія з ґрунтом.

Теоретично максимальний коефіцієнт зчеплення f_{max}^{34} , за якого відбувається виривання опорних елементів лиж з ґрунту та втрата зчіпних властивостей, визначається з виразу [4]:

$$f_{max}^{34} = \frac{f_2 (1 + \frac{h_{34}}{b})}{\tan(\tan \rho)}$$

де f_2 – емпіричний коефіцієнт:

$$f_2 = (1 + \frac{5}{h_{34}}).$$

Опір пересуванню, спричиненому деформацією ґрунту без вантажу та з вантажем [3]:

$$F_{\text{гр}} = f_0 \cos \gamma;$$

$$F_{\text{гр}} = f_0 (G + Q) \cos \gamma_1,$$

де f_0 – коефіцієнт опору, який залежить від типу ґрунту [4].

Опір від сил вітру на кран і на вантаж:

$$F_{\text{в}} = F_{\text{кр}} + F_{\text{ван}};$$

$$F_{\text{в}} = F_{\text{кр}} q_0 n_B + F_{\text{ван}} q_0 d,$$

де $F_{\text{кр}}$ – навітряна площа крокуючого стрілового крана; $F_{\text{ван}}$ – навітряна площа вантажу; q_0 – швидкісний напір; n_B – поправочний коефіцієнт, що враховує збільшення швидкісного напору залежно від висоти над поверхнею ґрунту; c – аеродинамічний коефіцієнт, що враховує умови обтікання конструкції або її елементів повітряним потоком; d – коефіцієнт, що враховує динамічний вплив, що спричинений пульсаціями швидкісного напору вітру.

Опір сил, спричинених ухилом:

$$F_y = G \sin \gamma;$$

$$F_y = (G + Q) \sin \gamma_1.$$

Коефіцієнт динамічності механізму переміщення:

$$K_{\text{д.пер}} = \frac{P_{\text{д.пер}}}{Q_c},$$

де Q_c – вага вантажу,

$$P_{\text{д.пер}} = Q_c + P_{\text{дин}} \geq Q_c,$$

де $P_{\text{дин}}$ – динамічне навантаження на вантажозахоплювальний пристрій, яке залежить від типу розвитку в часі t та жорсткості опорної конструкції C_k .

У цьому випадку m_B – маса вантажу, m_k – маса крана, $m_{\text{ш}}$ – маса крокуючого рушія.

Тоді

$$K_{\text{д.пер}} = 1 + \left(\frac{V}{g}\right) \rho =$$

$$= 1 + V \sqrt{\left(\frac{1}{g y_{\text{ст}}}\right) \cdot \left(\frac{m_B}{m_k + m_{\text{ш}} + m_B}\right)},$$

де $y_{\text{ст}}$ – прогин конструкції стріли від статичного навантаження; V – швидкість переміщення крана; $\rho = (C/(m_k + m_{\text{ш}}))^{1/2}$ – кругова частота вільних коливань; t – поточний час.

Відповідно до отриманих залежностей і з огляду на тип навантажень на опорні елементи була розроблена модель крокуючого стрілового крана [4], яка дозволила перевірити теоретичні дослідження, оцінити їхні результати та здійснити експериментальну перевірку на наявній моделі.

Висновки

Отримані результати дозволяють визначити прохідність кранів, обладнаних крокуючим ходом, на слабких ґрунтах. Проаналізовано загальний опір пересуванню стрілового крана з крокуючим рушієм. Було визначено, що у випадку використання опорних елементів шевронної форми коефіцієнт зчеплення збільшується в 1,5 раза.

Література

1. Крупко І. В., Бондаренко Т. Р. Оцінка технічного рівня механізмів пересування потужних екскаваторів. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. І. Даля. 2009. № 5 (135). С. 225–229.
2. Проць В. В., Крупко В. Г., Койнаш В. О. Розробка та дослідження засобів комплексного моделювання навантажень на механічні системи землерийних машин [Електронний ресурс]. Підйомно-транспортна техніка. 2014. № 1. С. 48–58.
3. Крупко І. В., Держинська О. В. Визначення опору пересування стрілового крана на крокуючому ході. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2019. №3 (47).
4. Держинська О. В. Обґрунтування раціональних параметрів і форм опорних елементів крокуючих механізмів підйомно-транспортних машин. 2019.
5. Лях П. Ф., Крупко І. В. Фізичне моделювання гусеничних ланок кар'єрних екскаваторів. Наукові праці ДонНТУ. Сер. Гірничо-електромеханічна. Вип. 35. 2001. С. 103–107.

References

1. Krupko I. V., Bondarenko T. R. Otsinka tekhnichnoho rivnia mekhanizmv peresuvannia potuzhnykh ekskavatoriv. Visnyk Skhidnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Dalia. 2009. № 5 (135). S. 225–229.
2. Prots V. V., Krupko V. H., Koinash V. O. Rozrobka ta doslidzhennia zasobiv kompleksnoho modeliuвання navantazhen na mekhanichni systemy zemleryinykh mashyn [Elektronnyi resurs].

- Pidiomno-transportna tekhnika. 2014. № 1. S. 48–58.
3. Krupko I. V., Dzerzhynska O. V. Vyznachennia oporu peresuvannia strilovoho kranu na krokuiu-chomu khodu. Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii. 2019. № 3 (47).
 4. Dzerzhynska O. V. Obgruntuvannia ratsionalnykh parametriv i form opornykh elementiv krokuiuchykh mekhanizmiv pidiomno-transportnykh mahyn. 2019.
 5. Liakh P. F., Krupko I. V. Fizychni modeliuvannia husenychnykh lanok kariernykh ekskavatoriv. Naukovi pratsi DonNTU. Ser. Hirnycho-elektromekhanichna. 2001. Vyp. 35. S. 103–107.

Крупко Валерій Григорович, к.т.н., доц. каф. Підйомно-транспортних машин і деталей машин, Приазовський Державний технічний університет, krupkovg@gmail.com, тел. +38 050-987-18-40,

Крупко Ігор Валерійович, к.т.н., доц. кафедри «Базові галузі промисловості», ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», ivkrupko@gmail.com, тел. +38 050-914-25-08.

Рукавишников Юрій Васильович, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 1962brat@gmail.com, тел. +38 067-304-57-87.

Development and improvement of mechanisms for the movement of lifting and transport equipment and earthmoving machinery using modeling methods

Abstract. Problem. The article examines issues related to improving the mechanisms of movement for technological machines, such as crane and excavator crawlers. **Goal.** Based on the analysis of existing

studies on the designs of tracked and walking mechanisms, the main directions for their improvement are established and a research methodology is developed, which includes theoretical studies using mathematical models, allowing to substantiate the parameters and design of support elements for the mechanisms and to find ways to improve them. **Methodology.** For tracked mechanisms, loads on support elements (tracks) are substantiated, and directions for increasing their strength are established. **Results.** For walking mechanisms of cranes, the design of the support ski surface with additional elements in the form of chevron teeth is substantiated, which increases the coefficient of friction between the ski and the ground. **Originality.** As a result of the research conducted according to the proposed methodology, ways to increase the strength of tracked links and a design for the ski-ground coupling are found. **Practical value.** Recommendations are developed for enterprises that operate and produce tracked and walking mechanisms.

Keywords: lifting and transport equipment, earthmoving machinery, modeling, supporting elements, track, excavator, mechanism, driving elements, ski.

Krupko Valeriy, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Hoisting and Transport Machines and Machine Parts, Pryazovs'kyi State Technical University, krupkovg@gmail.com, tel. +38 050-987-18-40,

Krupko Ihor, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Basic Industries, Technical University "METHINVEST POLYTECHNIKA" LLC, ivkrupko@gmail.com, tel. +38 050-914-25-08,

Rukavishnikov Uriy, Assistant Professor, of the Department of Construction And Road Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, 1962brat@gmail.com, тел. +38 067-304-57-87.