

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА ОПОРНО-ХОДОВІ ЕЛЕМЕНТИ СТІЛОВИХ САМОХІДНИХ КРАНІВ

Крупко В. Г.¹, Єрмакова С. О.¹, Щукін О. В.²

¹Донбаська державна машинобудівна академія

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Розглянуто фактори, що впливають на навантаженість елементів крана. Розроблено методичку, яка дозволяє провести моделювання процесу формування навантажень на опорно-ходові елементи стрілових самохідних кранів з урахуванням механічних характеристик опорних майданчиків, конструктивних параметрів кранів, їх опорно-ходових елементів за різних умов роботи і режимів навантаження кранів.*

***Ключові слова:** стрілові самохідні крани, опорно-ходові елементи, математична модель, умови спирання, розподіл навантажень, опорний контур.*

Вступ

Питання навантаженості та безпечної експлуатації є важливими проблемами кранового машинобудування. Вдосконалення існуючих та створення нових машин для виконання широкого спектра піднімально-транспортних робіт у складних умовах експлуатації повинно базуватися на надійній та безпечній роботі з урахуванням впливу зовнішнього середовища та змінного характеру навантаженості всіх складових елементів стрілових самохідних кранів. Як показує аналіз досвіду експлуатації стрілових кранів, значна кількість аварій, що зафіксовані під час роботи вантажопідйомних кранів, припадає на самохідні автомобільні та гусеничні крани, що складає 46 % від загальної кількості аварій на кранах. Основними причинами перекидання кранів можуть бути: непередбачувана деформація ґрунтової (або іншої) опорної площини; додаткові динамічні навантаження від вантажу, викликані різкими змінами напрямку руху вантажу; складні погодні умови (наприклад різка зміна напрямку і потужності вітрового потоку) та інші чинники, які досить складно, але необхідно урахувати під час проектування та у процесі експлуатації кранів. Таким чином, складність робіт, які виконують стрілові крани, умови, в яких вони працюють, та кількість аварій, що зафіксовані у процесі експлуатації вказаних машин, свідчать про актуальність дослідження.

Аналіз публікацій

Аналіз існуючих методик розрахунку навантажень на опорні елементи [1–3] показав, що не в повній мірі враховано процес взає-

модії опорних елементів із зовнішнім середовищем. Сучасні методи розрахунку та конструювання опорних елементів не завжди дозволяють врахувати при розробці цих кранів такі питання, як визначення зовнішніх навантажень та їх перерозподіл між опорними елементами крана, взаємодія опорних елементів з ґрунтом, який, у свою чергу, має властивість деформуватися при різних режимах роботи крана.

Мета і постановка завдання

Величина та характер змінення навантажень на опорні елементи, а також ґрунтові умови і особливості опорної площі, на яких працює стріловий кран, визначають його стійкість і навантаженість у процесі роботи. Основними факторами, що визначають величину навантажень на опорні елементи, є умови спирання машини на ґрунт, які обумовлені особливостями рельєфу робочого майданчика; характер виконуваних піднімально-транспортних робіт; вплив динамічних навантажень на величину деформації опорної поверхні майданчиків, на яких встановлений кран; конструктивні параметри опорно-ходових елементів.

Метою даних досліджень є моделювання процесу формування навантажень на опорно-ходове обладнання стрілових кранів з урахуванням взаємодії опор з опорною поверхнею та динамічних навантажень за різних умов роботи.

Основна задача досліджень полягає в розробці методички, яка дозволяє провести моделювання процесу формування навантажень на опорно-ходові елементи стрілових самохідних кранів з урахуванням механічних ха-

рактичних опорних майданчиків, конструктивних параметрів кранів, їх опорно-ходових елементів за різних умов роботи і режимів навантаження кранів.

Дослідження навантаженості опорних елементів самохідних кранів за різних умов роботи

Стріловий кран являє собою складну систему, складається з великої кількості деталей і вузлів. Тому для спрощення розрахунків кран поділяємо на декілька окремих структурних елементів.

Для вирішення задач правильної побудови опорної площадки та визначення стійкості складемо узагальнену структурну схему стрілового самохідного крана.

Узагальнена структурна схема (рис. 1) дає змогу представити модель процесу формування навантажень на основні елементи крана, взаємодію складових елементів машини та розробити математичну модель для розрахунків навантажень на опорні елементи стрілових самохідних кранів (рис. 2).

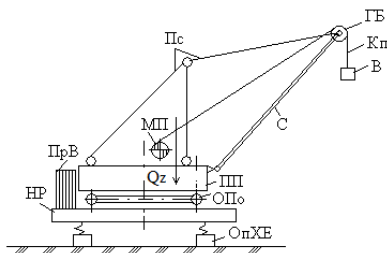


Рис. 1. Узагальнена структурна схема стрілового самохідного крана

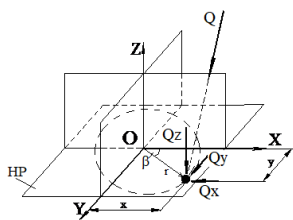


Рис. 2. Схема розкладання сил

Так на рис. 1 показано взаємозв'язок навантаження В через канати механізму підйому Кп, головні блоки ГБ із механізмом підйому МП, який встановлений на поворотній платформі ПП. На поворотній платформі ПП встановлюється стріла С та обладнання підвіски стріли Пс і протидіючої ваги ПрВ, а сама поворотна платформа через опорно-поворотне обладнання ОПО передає навантаження на опор-

но-ходові елементи ОпХЕ, які можуть значно відрізнитись за конструкцією.

Навантаження опор під час роботи носить просторовий характер, для чого приймаємо узагальнену схему впливу зовнішніх навантажень, що діють на жорстку раму крана.

Для стрілових кранів прийнято XOY опорною площиною крана, а ось Z є віссю обертання поворотної частини крана. Після знаходження точки перетину сили P з опорною площиною розкладаємо силу Q в ній на три складові: Q_x , Q_y , Q_z (рис. 2), опорно-ходові елементи умовно не показані.

При розробці математичної моделі процесу навантаження опорних елементів крана з урахуванням умов праці, необхідно враховувати реальні конструктивні розміри крана. З точки зору розподілу навантажень між опорами основними розмірами є відстань опорних елементів до осі обертання крана L_i та навантаження на опорну поверхню, яке виражено через моменти сил відносно координатних осей (рис. 1).

Розроблено математичну модель дослідження навантаженості опорних елементів стрілових кранів [2] з урахуванням взаємодії опорних елементів із площиною, на яку вони опираються. Для стрілового крана КС-6371, який має чотириточкову систему спирання у матричному виді, математична модель має вигляд:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ L_4 & L_4 & -L_3 & -L_3 \\ -L_1 & L_2 & L_3 & -L_4 \\ \frac{k_1 \cdot u_1}{F_1} & \frac{k_2 \cdot u_2}{F_2} & \frac{k_3 \cdot u_3}{F_3} & \frac{k_4 \cdot e}{F_4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q \\ Mx \\ My \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Розроблена математична модель дозволяє визначити навантаження на опорно-ходові елементи стрілових кранів з урахуванням конструктивних особливостей опорних контурів, опорних елементів і фізико-механічних характеристик опорних (робочих) площин кранів та перерозподіл цих навантажень у процесі роботи кранів.

В результаті теоретичних досліджень встановлено, що навантаження опорних елементів у процесі роботи крана носять коливальний характер, а їх величина змінюється в досить широких межах у залежності від коефіцієнтів податливості (жорсткості) опорної поверхні від $P_i=(0...10\%)G_{кр+в}$ до $P_i=(60...90\%)G_{кр+в}$, що дає можливість встановити максимальні навантаження на опорні

елементи і рекомендувати їх до розрахунків при проектуванні стрілових кранів.

Але під час роботи стрілових кранів виникають також динамічні навантаження. При використанні грейферного обладнання стрілові крани виконують роботи з перевантаження насипних вантажів, очищення водоймищ, басейнів, каналів, шламів із відстійників на вуглевидобувних шахтах і збагачувальних комбінатах. У процесі виконання приведених технологічних процесів перевантаження, особливо вологих ґрунтів, виникають значні динамічні навантаження на механізми, металеву конструкцію та тягові елементи кранів. Причиною цього є характер взаємодії

$$l^2 \cdot \left(\frac{1}{3} m_1 + m_2 \right) \cdot \ddot{\phi} = F \cdot l + C \cdot \left(\sqrt{b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos(\phi + \alpha)} - a \right) \cdot l \cdot \sin(\beta) + k \cdot \dot{\phi}$$

За результатами теоретичних досліджень динамічних навантажень показано [2], що на процес коливань динамічних навантажень у системі підвісу стріли можна впливати за допомогою зменшення жорсткості системи шляхом зміни її конструкції. Величину коефіцієнта динаміки можна зменшити майже у два рази до $k_d=1,4 \dots 1,8$, що, у свою чергу, приведе до зменшення навантажень на металоконструкції поворотної платформи, нижньої рами й опорно-ходові елементи.

За методикою з визначення стійкості стрілових самохідних кранів, розробленою у Дніпропетровській академії будівництва і архітектури [4], було встановлено, що при раптовому знятті навантажень момент від нормативних динамічних навантажень визначається за формулою (позначення за методикою авторів):

$$M_{od}^H = \Delta Q (A_1 \delta)^{1/2},$$

де ΔQ – вага вантажу, що знімається, Н;

$$A_1 = G_{yt} \cdot h_k,$$

G_{yt} – вага нормативного крана, Н; h_k – вертикальна координата центра тяжіння крана, м; δ – вертикальне переміщення гака при дії одиничного навантаження.

Звідси отримано значення величини навантаження, яке раптово знімається [4]:

$$\Delta Q = \frac{0,95 G_{yt} b_k^2}{h_k \cdot \Delta h},$$

грейфера з ґрунтом, а саме прояв ефекту «підсосу», який виникає в разі відриву робочого органу від ґрунту, що призводить до поштовхів та нерівномірності в роботі механізмів кранів та перерозподілу навантажень на опорно-ходові елементи і, як наслідок, до погіршення умов роботи цих елементів та зниження стійкості кранів.

Складено математичну модель [3] дослідження динамічних навантажень з урахуванням системи підвісу стріли та вантажу, яка включає загальне нелінійне диференційне рівняння з урахуванням коливань у вертикальній площі:

де b_k – відстань від ребра перекидання до дії сили ваги крана, м; h_k – вертикальна координата центра ваги, м; Δh – повне вертикальне переміщення гака при дії вантажу, що знімається без урахування деформації вантажних канатів.

Але в даній роботі [4] при визначенні перекидаючого моменту, за різкої зміни навантажень, не враховуються процес взаємодії окремих опорних елементів з опорною площею при різних кутах повороту крана і не відображаються особливості впливу на можливості динамічні навантаження конструкції підвісу стріли та варіанти передачі динамічних навантажень на опорно-ходові елементи стрілових кранів.

Враховуючи отримані під час досліджень залежності, що викладені вище, дозволяють внести доповнення з отримання більш точного урахування (на мій погляд) ваги вантажу, що знімається:

$$\Delta Q = k_d \frac{0,95 G_{yt} b_k^2}{h_k \cdot \Delta h}.$$

Висновки

Враховуючи при розрахунку стійкості стрілових кранів уточнені навантаження опорних елементів, які враховують особливості опорної площини та коефіцієнт динаміки, з'являється можливість збільшити точність розрахунків.

Література

1. Вайнсон А. А. Подъемно-транспортные машины: учебник для вузов по специальности

- «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / А. А. Вайнсон. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1989. – 536 с.
2. Крупко І. В., Іваненко О. І., Єрмакова С. О. Основні положення вдосконалення методів розрахунку навантажень на опорно-ходові пристрої підйомно-транспортних машин / Норвезький журнал розвитку міжнародної науки. – Ч.1 – №57/2021. – С. 54–59. ISSN 3453-9875. DOI: 10.24412/3453-9875-2021-57-1-54-59.
 3. Крупко В.Г., Єрмакова С.О. Дослідження динамічних навантажень в балочній стріловій підвісці універсальних екскаваторів та кранів // Наукові вісті Далівського університету / Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. №15 – 2018.
 4. Колісник М.П., Шевченко А.Ф. Проблеми стійкості вантажопідіймальних кранів / Одеський національний політехнічний університет, Підйомно-транспортна академія наук України // Підйомно-транспортна техніка. 1-2(1-2) – м. Одеса – 2002.

References

1. Vainson A. A. Hoisting and transport machines: Textbook for universities in the specialty «Hoisting and transport, construction, road machines and equipment» / A. A. Vainson. - 4th ed., Rev. and add. - M. Mechanical Engineering, 1989.- 536 p.
2. Krupko I., Ivanenko O., Yermakova S. Substantive provisions of improvement of methods of calculation of loads on carrying and propelling devices of lifting and transport machines / Norwegian Journal of development of the International Science. – VOL.1 – №57/2021. – p. 54-59. ISSN 3453-9875. DOI: 10.24412/3453-9875-2021-57-1-54-59.
3. Krupko V. G, Yermakova S. A. Investigation of dynamic loads in the beam boom suspension of universal excavators and cranes // Scientific Bulletin of Daliv University / Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. №15 - 2018.
4. Kolisnyk M. P., Shevchenko A. F. Problems of stability of cranes / Odessa National Polytechnic

University, Lifting and Transport Academy of Sciences of Ukraine // Lifting and Transport Equipment. 1-2 (1-2) - Odessa – 2002.

- Крупко В. Г.**, к.т.н., доцент,
Донбаська державна машинобудівна академія,
вул. Академічна, 72, 84300, м. Краматорськ,
тел. (050)987-18-40
krupkovg@gmail.com
- Єрмакова С. О.**, старший викладач
Донбаська державна машинобудівна академія,
вул. Академічна, 72, 84300, м. Краматорськ,
тел. (099)450-78-70
svetlana.ermakova@i.ua
- Щукін О. В.**,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, тел. (057)707-36-58,

Modeling of the process of forming loads on the supporting and running elements of self-propelled jib cranes

Abstract. Factors influencing the load of crane elements are considered. A technique has been developed that allows modeling the process of forming loads on the support and running elements of self-propelled jib cranes taking into account the mechanical characteristics of support platforms, structural parameters of cranes, their supporting and running elements under different operating conditions and load modes of cranes.

Key words: self-propelled jib cranes, carrying and propelling element, mathematical model, terms and conditions of supporting, allocation of loads, support circuit.

Krupko V. G., PhD in Technical Sciences, associate professor, Donbas state machine-building academy, Kramatorsk, 84300, Ukraine, +380509871840, krupkovg@gmail.com

Yermakova S. A., senior lecturer, Donbas state machine-building academy, Kramatorsk, 84300, Ukraine, +380994507870

Schukin O. V., Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, (057)707-36-58.