

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЄРМАКОВА СВІТЛАНА ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 621.873.11:629.3.017

**ОБГРУНТУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА ОПОРНО-ХОДОВЕ
ОБЛАДНАННЯ СТІЛОВИХ САМОХІДНИХ КРАНІВ**

Спеціальність 05.05.05 – піднімально-транспортні машини

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі «Підйомно-транспортних машин» ДВНЗ «Донбаська державна машинобудівна академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Крупко Валерій Григорович,
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
доцент кафедри підйомно-транспортних машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Суглобов Володимир Васильович,
Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь
декан факультету машинобудування та зварювання

кандидат технічних наук, професор
Колісник Микола Прокопович,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро
професор кафедри експлуатації та ремонту машин

Захист відбудеться «12» травня 2021 р. об 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.059.05 у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, або за web-адресою: <https://www.khadi.kharkov.ua/science/specializovani-vcheni-radi/k-6405905/oprijudnennja-disertacii-ta-vidgukiv>.

Автореферат розісланий «09» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради К 64.059.05,
кандидат технічних наук, доцент



О.І. Іваненко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Питання навантаженості та безпечної експлуатації є важливими проблемами кранового машинобудування.

Величина та характер змінення навантажень на опорні елементи, а також ґрунтові умови і особливості опорної площі, на яких працює стріловий кран, визначають його стійкість та навантаженість в процесі роботи. Одним з факторів, який визначає величину навантажень на опорні елементи, є умови спирання машини на ґрунт, які обумовлені особливостями рельєфу робочого майданчика в динаміці роботи крану.

Як показує аналіз досвіду експлуатації стрілових самохідних кранів значна кількість аварій, що зафіксовані при роботі вантажопідійомних кранів, приходить на автомобільні та гусеничні крани, що складає 46% від загальної кількості аварій на кранах.

Аналізу існуючих методик розрахунку навантажень на опорні елементи показав, що не в повній мірі враховано процес взаємодії опорних елементів з 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 в свою чергу має властивість деформуватися при різних режимах роботи крана.

Для забезпечення безпечності, а також експлуатаційної ефективності стрілових кранів, які працюють на відкритих майданчиках, слід удосконалити та використовувати метод визначення та розподілу навантажень на опорні елементи кранів, які взаємодіють з різними опорними площинами.

На підставі викладеного можна охарактеризувати дану дисертаційну роботу як актуальну, спрямовану на вирішення важливої науково-технічної задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Донбаської державної машинобудівної академії і є складовою частиною держбюджетних робіт: Дк-07-2012, державний реєстраційний номер 0112U006712 «Обґрунтування напрямів підвищення надійності і довговічності вантажопідійомного, транспортуючого, будівельного і гірського устаткування на стадії проектування» та Дк-05-2015, державний реєстраційний номер 0115U004732 «Удосконалення конструкції та технологічної підготовки виробництва підійомно-транспортних будівельних і гірничих машин», в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є обґрунтування навантажень на опорно-ходове обладнання стрілових самохідних кранів з урахуванням взаємодії опор з опорною поверхнею за різних умов роботи.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі були сформульовані наступні задачі:

- провести аналіз умов експлуатації стрілових самохідних кранів, конструкцій опорних контурів і їх складових елементів, методик визначення навантаженості опорно-ходового обладнання стрілових самохідних кранів;
- провести аналіз досліджень з напрямку підвищення стійкості кранів та визначити основні напрямки підвищення стійкості при різних умовах роботи;
- розробити методики для визначення навантажень на опорні елементи стрілових самохідних кранів з урахуванням механічних характеристик та параметрів опорної площі і опорного контуру за різних умов роботи;
- провести теоретичні дослідження динамічних навантажень на металоконструкції та опорно-ходові елементи самохідних кранів та визначити їх вплив і перерозподіл навантажень;
- провести експериментальні дослідження по дослідженню навантаженості опорних елементів при зміні поведінки опорної поверхні та впливу динамічних навантажень на опорно-ходові елементи;
- на основі теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтувати методику визначення параметрів опорних елементів в залежності від умов роботи.

Об'єкт дослідження – опорні елементи стрілових самохідних кранів.

Предмет дослідження – процеси навантаження та розподілу навантажень між опорними елементами стрілових самохідних кранів.

Методи дослідження. У роботі застосовані теоретичні та експериментальні дослідження. В теоретичній частині були використані методи аналітичної механіки, математичного моделювання, диференційного, інтегрального числення та теорії множин. Експериментальна частина роботи містить наближене фізичне моделювання процесу взаємодії опорних елементів крана з ґрунтом при виконанні підйомно-транспортних операцій з різним робочим органом за змінними режимами роботи та методів математичної статистики обробки результатів досліджень. Використані розрахунково-аналітичні методики визначення раціональних конструктивних параметрів опорних контурів; з використання програми MAPLE проведено аналіз навантаженого стану опорних елементів; експериментальним методом підтверджено правильність розробленої математичної моделі.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці наукових основ оцінки навантаженості опорних елементів стрілових самохідних кранів:

- *вперше розроблена* математична модель формування та зміни навантажень на опорні елементи стрілових самохідних кранів за різних кутів повороту крана з вантажем;
- *вперше розроблена* методика, яка враховує як звичайні (статичні) так і динамічні навантаження на опорно-поворотне і ходове обладнання кранів з різною конструкцією підвісу стріли;

- встановлено залежності по визначенню контактних напружень ґрунту в зоні взаємодії опорних елементів з зовнішнім середовищем.

Отримали подальшого розвитку:

- математичні залежності по визначенню стійкості стрілових самохідних кранів з урахуванням механічних властивостей опорної поверхні кранів;

- уточнення процесів взаємодії опорних елементів різної форми та їх можливого розташування відносно осі обертання кранів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1 Розроблена математична модель визначення та перерозподілу навантажень на опорно-ходові елементи самохідних стрілових кранів в залежності від геометрії опорних контурів дозволяє проводити оцінку навантажень на окремі опори з урахуванням механічних властивостей поверхні на якій вони розташовані.

2 Обґрунтовано методику визначення динамічних навантажень на обертальну і опорно-ходову частину кранів та їх вплив на стійкість стрілових самохідних кранів та навантаженість опор.

3 Отримані аналітичні залежності мають практичну цінність, що полягає в їх використанні під час проектування та експлуатації самохідних стрілових кранів з метою підвищення безпеки при різних умовах роботи.

4 Результати роботи впроваджені в ПрАТ «Науково-дослідницькому і проектно-технологічному інституті машинобудування».

5 Результати роботи використовуються в науковій та навчальній роботі кафедри «Підйомно-транспортних машин» Донбаської державної машинобудівної академії при викладанні розділів дисциплін «Спеціальні крани» та «Машини для земляних, дорожніх і меліоративних робіт» для освітнього рівня бакалавр, а також в курсових та науково-дослідних роботах магістрів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Особистий внесок автора. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, які подані до захисту отримані автором самостійно. Особистий внесок здобувача в надрукованих у співавторстві роботах, полягає у наступному: розроблена математична модель дослідження навантажень на опорні елементи стрілових кранів; дослідження умов роботи стрілових кранів; дослідження навантаженості опорних елементів кранів з урахуванням взаємодії опор з опорною поверхнею.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри «Підйомно-транспортні машини» ДДМА; науково-технічних та науково-практичних конференціях: IV міжнародна наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів (м. Макіївка, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, 2005р.); IV - V міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів «Интеллект молодых – производству 2005 та 2007» (м. Краматорськ, ПрАТ «НКМЗ», 2005р., 2007р.); Перша міжнародна науково-технічна конференція молодих

спеціалістів «Азовмаш - 2006» (м. Маріуполь, ПрАТ «Азовмаш», 2006р.); Міжнародна конференція молодих вчених, аспірантів і студентів (м. Макіївка, Донбаська національна академія будівництва та архітектури, 2007р.); Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» (м. Кременчук, Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Островського, 2008р.); Всеукраїнська науково-технічна конференція «Шляхи вирішення проблем експлуатації спеціалізованих автотранспортних засобів» (м. Кривий Ріг, ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2017р.); Міжнародна науково-практична конференція «Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів» (м. Дніпро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2018р.); X, XVI – XVII щорічні міжнародні науково-технічні конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, ДДМА, 2013р., 2018р., 2019р.); XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука - виробництво» (м. Краматорськ, ДДМА, 2018р.); щорічні науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, наукових, інженерно-технічних працівників, аспірантів і студентів за підсумками наукової діяльності академії (м. Краматорськ, ДДМА, 2006-2008рр., 2013-2014рр., 2018-2021рр.); Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 85-річчю НКМЗ «Современные комплексы оборудования для добычи, обогащения и транспортировки полезных ископаемых. Перспективы развития технологических процессов» 2019р. (м. Краматорськ, ПрАТ «НКМЗ», 2019р.).

Публікації. Основні наукові та практичні результати досліджень опубліковані в 23 друкованих працях: 8 статей у наукових фахових виданнях України, у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних, 2 статті у міжнародних виданнях, 2 статті у інших виданнях, 11 тез доповідей та матеріалів конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 211 сторінках машинописного тексту, складається з анотації із переліком праць, вступу, 4 розділів з опціональним формуванням списку використаних джерел (загалом 105 джерел), загальних висновків та 8 додатків. Об'єм основного тексту дисертації складає 164 сторінки друкованого тексту. Робота ілюстрована 5 таблицями по тексту та 63 рисунками по тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, представлено загальну характеристику роботи, сформульовано мету та задачі досліджень. Вибрано об'єкт і предмет досліджень; наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; представлена інформація про

апробацію та публікацію результатів досліджень, вказано особистий внесок здобувача.

У першому розділі «Огляд та аналіз досліджень конструкцій і методів розрахунку навантажень опорних елементів стрілових самохідних кранів» подано аналіз сучасного стану наукових розробок по вдосконаленню методів розрахунку стійкості та навантажень на опорно-ходові елементи, а також огляд конструкцій, патентів і перспективних напрямків підвищення безпечної експлуатації стрілових самохідних кранів.

Проведено аналіз праць з теорії та розрахунку підйомно-транспортних машин провідних вчених у цій галузі: Л.Г. Кіфера, І.І. Абрамовича, М.П. Александрова, М.Н. Гохберга, В.С. Котельнікова, А.А. Вайнсона, В.Ф. Гайдамаки, П.З. Петухова, Г.П. Ксюніна, О.В. Григорова, В.Ф. Семенюка, А.Г. Ланги та інші.

У працях, Лавейкіна В.С., Лобова М.А., Іванченка Ф.К., Андрієнко М.М., Міхеєва В.А., Суглобова В.В., Колісника М.П., Ракши С.В., Мелашича В.В., Власова Т.В., М. Шефлера, розглянуті питання стійкості стрілових самохідних кранів та впливу динаміки процесів підйому вантажу на величину навантажень на металеві конструкції і опорно-ходові елементи кранів.

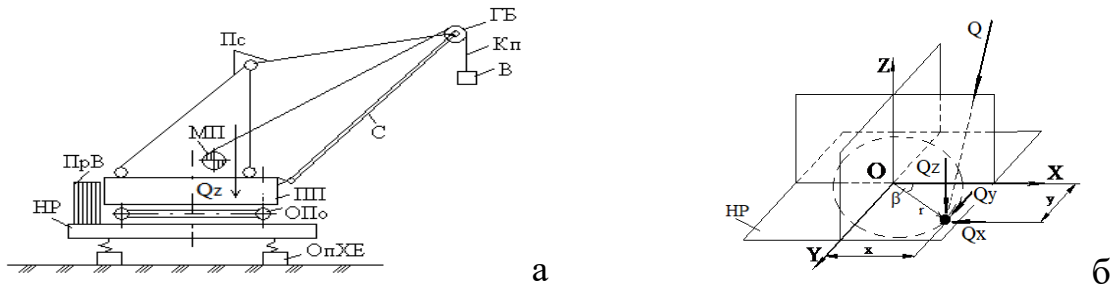
У цих дослідженнях викладено методики визначення навантажень на опорно-ходові елементи стрілових кранів та результати теоретичних і експериментальних досліджень стійкості з урахуванням умов експлуатації. Аналіз існуючих робіт та конструктивних особливостей опорно-ходового обладнання дозволив зробити висновок про необхідність обґрунтування закономірностей процесу навантаження опор стрілових самохідних кранів при установці і роботі їх на різних за природою та фізико-механічним властивостям опорних площин. На основі проведеного аналізу досліджень і особливостей експлуатації стрілових кранів сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі «Теоретичні дослідження процесу навантажень на опорні елементи кранів з урахуванням умов експлуатації» обґрунтовано складові частини математичної моделі процесу взаємодії опорно-ходової частини стрілових самохідних кранів з зовнішнім середовищем.

Для вирішення задач правильної побудови опорної площадки та визначення стійкості складено структурну схему стрілового самохідного крана на прикладі КС-6371 (рис. 1, а), де показано взаємозв'язок вантажу V через канати механізму підйому K_{Π} , головні блоки $ГБ$ з механізмом підйому $МП$, який встановлений на поворотній платформі $ПП$. На поворотній платформі $ПП$ встановлюється стріла $С$ та обладнання підвіски стріли $П_{\text{С}}$ та противага $П_{\text{рВ}}$, а сама поворотна платформа через опорно-поворотне обладнання $ОП_{\text{О}}$ передає навантаження на опорно-ходові елементи $О_{\text{пХЕ}}$, які можуть значно відрізнитись по конструкції.

Згідно зі схемами рис. 1 навантаження опор під час роботи носить

просторовий характер, для чого приймаємо узагальнену схему і методику визначення впливу зовнішніх навантажень, що діють на жорстку раму крана.



а – структура крана; б – схема розкладання сил

Рис. 1 – Спрощена структурна схема стрілового самохідного крана

Для стрілових самохідних кранів прийнято ХОУ опорною площиною крана, а ось Z є віссю обертання поворотної частини крана. Після знаходження точки перетину сили Q з опорною площиною розкладаємо її на три складові: Q_x , Q_y , Q_z (рис. 1, б), опорно-ходові елементи умовно не показані.

Розробка математичної моделі для чотирьохопорної системи опирання полягає в обґрунтуванні параметрів, які моделюються, а саме навантаження опор P_i , а параметрами, якими можна варіювати є зусилля G_i , вага вантажу G_{gr} , геометричні розміри L_i .

Для визначення навантажень на опори зробимо наступні допущення: ґрунт під окремо взятою опорою являє собою однорідне тіло; зв'язок між тиском опори і деформацією ґрунту відомий; нижня рама крана абсолютно жорстка; умови навантаження опор однакові; навантаження з боку вантажу та мас елементів крана відоме; положення рівнодіючої при різних положеннях вантажу відоме.

Складено розрахункову схему для чотирьохточкового опорного контуру.

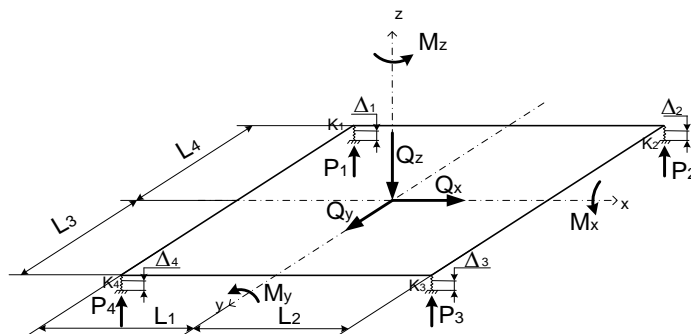


Рис. 2 – Розрахункова схема чотирьохопорного ходового обладнання
Для визначення деформації ґрунту використано відомі залежності:

$$h = k \cdot \frac{P}{F},$$

де h – деформація ґрунту під опорним елементом, см; P – зусилля з боку опори на ґрунт, Н; F – площа опорної поверхні, см²; k – коефіцієнт податливості ґрунту, см³/даН.

Для визначення реакцій опор P_1, P_2, \dots, P_4 складено рівняння рівноваги машини. Деформацію ґрунту та навантаження на опорні елементи можна знайти визначив X-Y-h. площину. Для визначення цієї площини скористаємось координатами трьох будь-яких опорних точок, які не лежать на одній прямій (див. рис. 2).

Запишемо рівняння площини у матричному виді:

$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & h-h_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & h_2-h_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 & h_3-h_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

Система лінійних рівнянь для стрілового крану типу КС буде мати вигляд:

У матричному виді:

$$\begin{cases} P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - Q_z = 0; \\ P_1 \cdot L_4 + P_2 \cdot L_4 - P_3 \cdot L_3 - P_4 \cdot L_3 + M_x = 0; \\ -P_1 \cdot L_1 + P_2 \cdot L_2 + P_3 \cdot L_3 - P_4 \cdot L_1 + M_y = 0; \\ P_1 \cdot \frac{k_1 \cdot u_1}{F_1} + P_2 \cdot \frac{k_2 \cdot u_2}{F_2} + P_3 \cdot \frac{k_3 \cdot u_3}{F_3} + P_4 \cdot \frac{k_4 \cdot e}{F_4} = 0. \end{cases} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ L_4 & L_4 & -L_3 & -L_3 \\ -L_1 & L_2 & L_3 & -L_4 \\ \frac{k_1 \cdot u_1}{F_1} & \frac{k_2 \cdot u_2}{F_2} & \frac{k_3 \cdot u_3}{F_3} & \frac{k_4 \cdot e}{F_4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q \\ M_x \\ M_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Через те, що розподіл навантаження на опори носить змінний характер і залежить не тільки від ваги вантажу, але й від положення поворотної частини щодо неповоротної, від вильоту стріли, то в процесі роботи крану відбувається постійна зміна значень моментів сил відносно осей X і Y. Для вирішення рівнянь (2) по дослідженню навантажень на опорно-ходові елементи застосовано програму у середовищі Maple згідно представленого алгоритму (рис. 3) на прикладі зміни навантаженості опорних елементів стрілового крану КС-6371 при роботі крану за розробленою методикою.

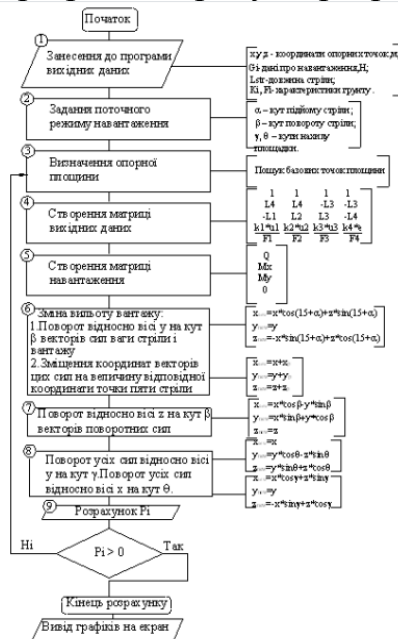
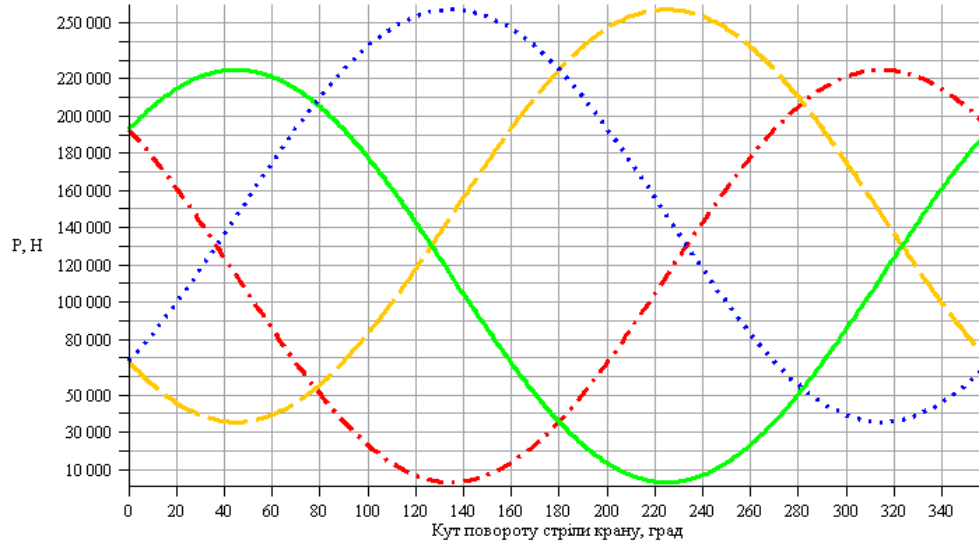


Рис. 3 – Алгоритм розрахунку

Графік зміни і розподілення навантажень між опорами при повороті стріли крану на 360° наведено на рис. 4 при цьому кут підйому стріли $\alpha=0^{\circ}$; кути стоянки крану $\gamma=0^{\circ}$, $\theta=0^{\circ}$.



Використані умовні позначення:



Рис. 4 – Графік зміни і розподілення навантажень між опорами крану при повороті стріли крану

Зміна навантаження окремих опорних точок при зміні вильоту і кута встановлення стріли від максимального значення до мінімального та горизонтальній площині стоянки крану $\gamma=0^{\circ}$, $\theta=0^{\circ}$ (рис. 5).

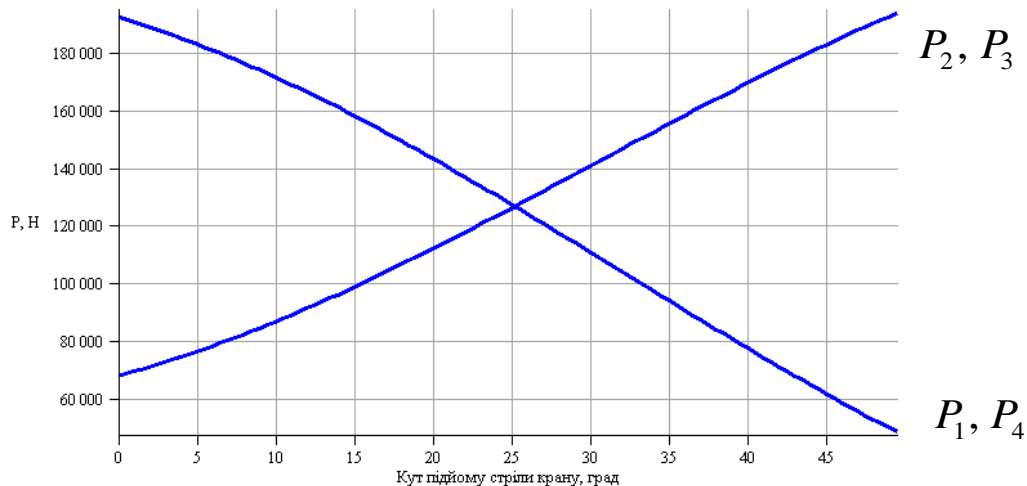


Рис. 5 – Графік зміни і розподілення навантажень між опорами крану при зміні вильоту стріли на горизонтальній площині

Аналіз графіків, зображених на рис. 4 та 5, дозволяє зробити такі висновки: навантаження опорних елементів у процесі роботи крану носить коливальний характер; навантаження, виникаючі в опорах крану, змінюються у широких межах в залежності від положення елементів крану; при зміні вильоту 1 та 4 опори витримують однакові навантаження у межах від 68 до 190 кН, а 2 та 3 – від 190 до 50 кН; при повороті стріли крану найбільші навантаження спостерігаються під опорами 1 та 4 і складають $P=250$ кН, а

найменші – під опорами 2 та 3 і складають $P=5$ кН; при куті повороту стріли крану $\beta=135^{\circ}$ друга опора є майже розвантаженою, а при куті повороту $\beta=225^{\circ}$ третя опора майже виключається з роботи.

Розподіл навантажень при стоянці крану на похилому майданчику:

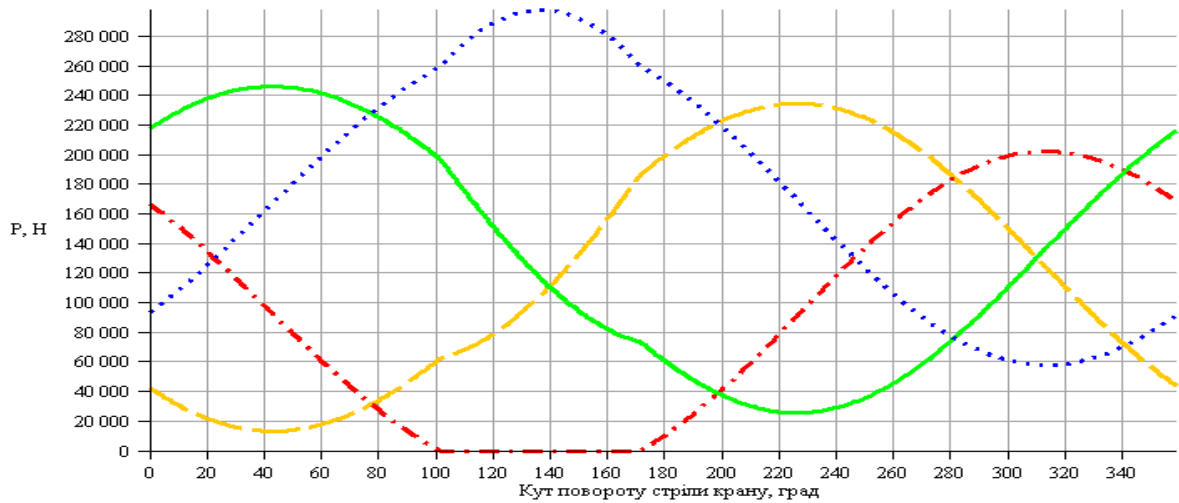


Рис. 6 – Графік розподілу навантажень при стоянці крану на похилому майданчику (при повороті стріли: $\alpha=0^{\circ}$, $\gamma=0^{\circ}$, $\theta=4^{\circ}$)

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що деякі опорні точки мають як позитивне, так і негативне навантаження при повороті крану. Коливання навантажень на ці точки мають амплітуду близько 200 кН.

Для чотирьохточкової системи опирання розглянуто глибину занурення опор в ґрунт різного роду (рис. 7) при роботі на відкритих ґрунтах і дії максимального навантаження на опору $G=315$ кН для різних розмірів опорних елементів, а саме $b \times l=0,5; 0,6; 0,75$ м.

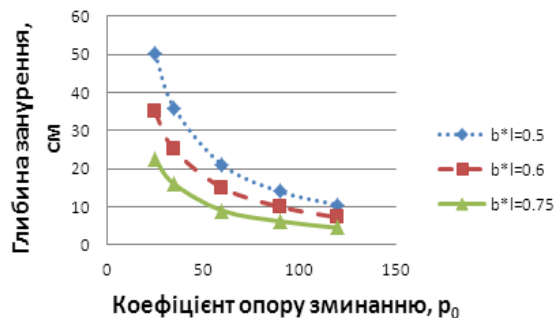


Рис. 7 - Залежність глибини занурення опори в ґрунт від роду ґрунту при різних розмірах опорної поверхні

Глибина занурення виносної опори зростає пропорційно величині фактичного тиску на ґрунт і зменшується при збільшенні коефіцієнта опору змінанню p_0 і збільшенні площі того, що спирається $b \times l$ виносної опори на ґрунт.

Результати теоретичних досліджень показали, що для даного автомобільного крану КС- 6371 на заболочених ґрунтах, мокрій глині, рихлому піску, ріллі, крупному піску, вологій глині середньої щільності рекомендується встановлювати додаткові опорні пластини розмірами $b \times l=0,75$ м. Максимальне занурення при цьому складе 0,225 м. Робота крану на глині середньої щільності, щільної, мергелі і лесі менш схильна до

просідання в ґрунт, тому машиніст крану може не встановлювати конкретні опорні пластини перед роботою на цих ґрунтах.

Також за наведеним принципом розроблено розрахункову схему та математичну модель для восьми-точкової системи опирання, яка має наступний вигляд:

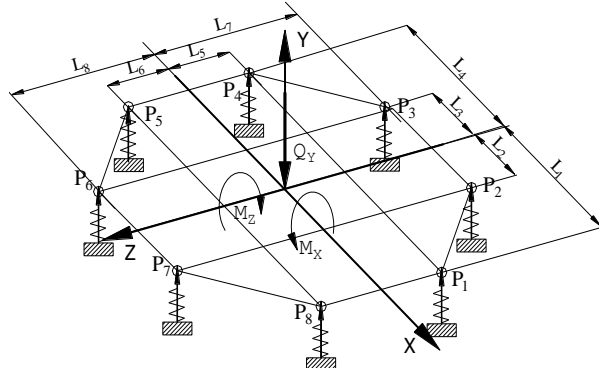


Рис. 8 – Розрахункова схема взаємодії опорних елементів крану з ґрунтом при складному (восьми-точковому) опорному контурі

Математичну модель для восьми-точкової системи опирання:

$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 L_5 & L_7 & L_7 & L_5 & -L_6 & -L_8 & -L_8 & -L_6 \\
 k_1 u_1^3 & k_2 u_2^3 & k_3 e & 0 & 0 & 0 & 0 & k_8 u_8^3 \\
 F_1 & F_2 & F_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & F_8 \\
 k_1 u_1^4 & k_2 u_2^4 & 0 & k_4 e & 0 & 0 & 0 & k_8 u_8^4 \\
 F_1 & F_2 & 0 & F_4 & 0 & 0 & 0 & F_8 \\
 L_1 & L_2 & -L_3 & -L_4 & -L_4 & -L_3 & L_2 & L_1 \\
 k_1 u_1^6 & k_2 u_2^6 & 0 & 0 & k_5 e & 0 & 0 & k_8 u_8^6 \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & F_5 & 0 & 0 & F_8 \\
 k_1 u_1^7 & k_2 u_2^7 & 0 & 0 & 0 & k_6 e & 0 & k_8 u_8^7 \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & 0 & F_6 & 0 & F_8 \\
 k_1 u_1^8 & k_2 u_2^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_7 e & k_8 u_8^8 \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & F_7 & F_8
 \end{bmatrix}
 \times
 \begin{bmatrix}
 P_1 \\
 P_2 \\
 P_3 \\
 P_4 \\
 P_5 \\
 P_6 \\
 P_7 \\
 P_8
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 Q_y \\
 Q_y \cdot r \cdot \sin \beta \\
 0 \\
 0 \\
 Q_y \cdot r \cdot \cos \beta \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

В результаті теоретичних досліджень за розробленою математичною моделлю та методикою отримано графіки навантаженості опорних елементів для восьми-точкової системи опирання.

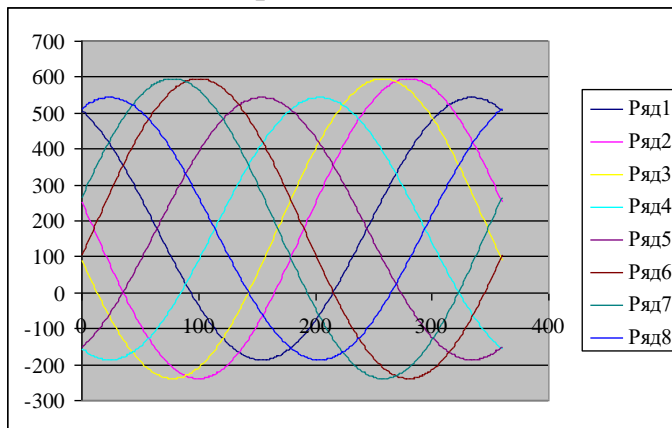


Рис. 9 – Розподіл навантажень на опори для восьми-точкового опорного контуру

Для складного опорного контуру, на прикладі крану на гусеничному ході, розрахункова схема та математична модель має наступний вигляд:

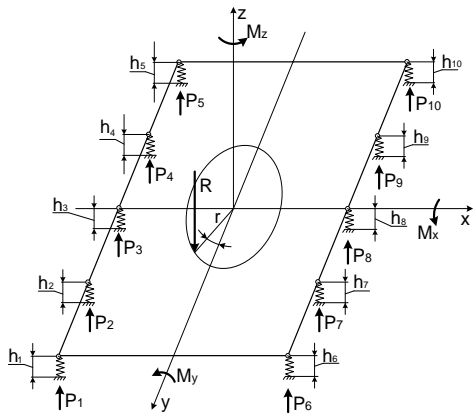
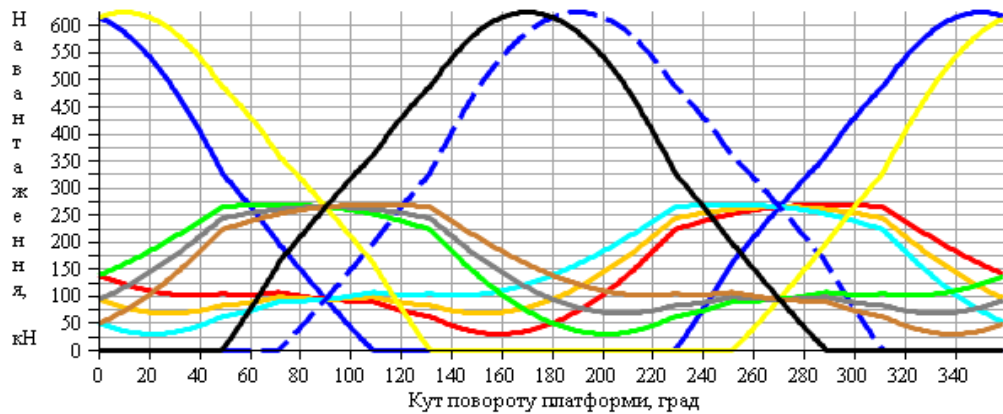


Рис. 10 – Розрахункова схема взаємодії опорних елементів гусеничного рушія крану з ґрунтом

Математичну модель для восьми-точкової системи опирання

$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 -\frac{a}{2} & -\frac{a}{2} & -\frac{a}{2} & -\frac{a}{2} & -\frac{a}{2} & \frac{a}{2} & \frac{a}{2} & \frac{a}{2} & \frac{a}{2} & \frac{a}{2} \\
 k_1 u_1^3 & k_2 u_2^3 & k_3 e & 0 & 0 & k_6 u_6^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 F_1 & F_2 & F_3 & 0 & 0 & F_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 k_1 u_1^4 & k_2 u_2^4 & 0 & k_4 e & 0 & k_6 u_6^4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 F_1 & F_2 & 0 & F_4 & 0 & F_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 k_1 u_1^5 & k_2 u_2^5 & 0 & 0 & k_5 e & k_6 u_6^5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & F_5 & F_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 L_1 & L_2 & -L_3 & -L_4 & -L_5 & L_6 & L_7 & -L_8 & -L_9 & -L_{10} \\
 k_1 u_1^7 & k_2 u_2^7 & 0 & 0 & 0 & k_6 u_6^7 & k_7 e & 0 & 0 & 0 \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & 0 & F_6 & F_7 & 0 & 0 & 0 \\
 k_1 u_1^8 & k_2 u_2^8 & 0 & 0 & 0 & k_6 u_6^8 & 0 & k_8 e & 0 & 0 \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & 0 & F_6 & F_8 & F_9 & 0 & 0 \\
 k_1 u_1^9 & k_2 u_2^9 & 0 & 0 & 0 & k_6 u_6^9 & 0 & 0 & k_9 e & 0 \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & 0 & F_6 & 0 & 0 & F_9 & 0 \\
 k_1 u_1^{10} & k_2 u_2^{10} & 0 & 0 & 0 & k_6 u_6^{10} & 0 & 0 & 0 & k_{10} e \\
 F_1 & F_2 & 0 & 0 & 0 & F_6 & 0 & 0 & 0 & F_{10}
 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \\ P_9 \\ P_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q \\ Q \cdot r \cdot \sin \beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ Q \cdot r \cdot \cos \beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Результати розрахунку представлені на рис. 11.



Використані умовні позначення:

— — — — — P_1 ; - - - - - P_5 ; ————— P_6 ; ————— P_{10}

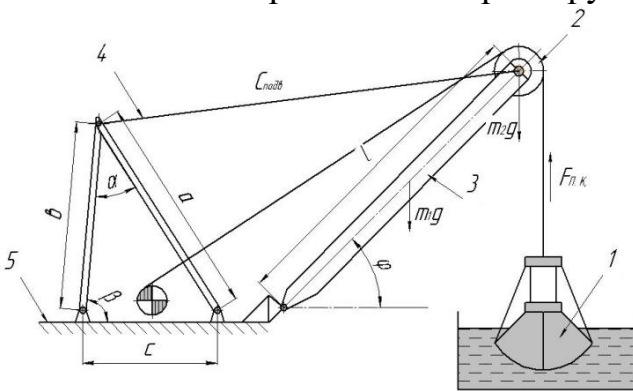
Рис. 11 – Графік зміни навантаження опорних елементів крану з гусеничним рушієм при повороті платформи

В результаті теоретичних досліджень встановлено, що навантаження опорних елементів у процесі роботи крану носять коливальний характер, а їх величина змінюється в досить широкі межі в 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 самохідних кранів.

У *третьому розділі* наведено дослідження впливу динамічних навантажень на опорно-ходові елементи стрілових самохідних кранів. Розроблено розрахункову схему, математичну модель та методику визначення динамічних навантажень на металоконструкцію та опорно-ходові

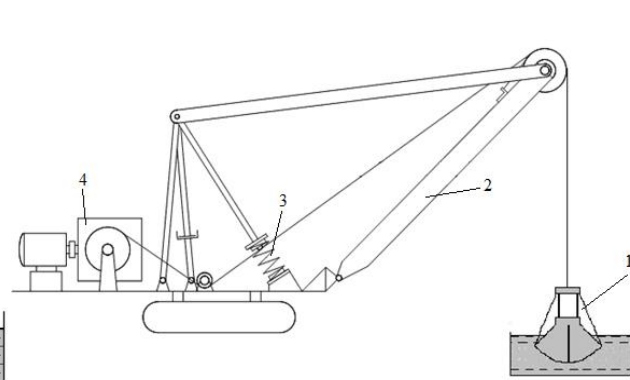
елементи машини. Динамічні навантаження на робоче устаткування і металоконструкцію машини виникають, наприклад, під час підйому грейфером (рис. 12) в'язкої (вологої) речовини відбувається явище так званого "підсосу", при цьому з'являється явище «закидання» стріли або різке зняття максимального навантаження в процесі підйому вантажу, що також викликає збільшення динамічних навантажень на металоконструкцію.

Складання математичної моделі здійснюємо, приймаючи наступні допущення та обмеження: коефіцієнт стійкості забезпечує механічні характеристики обладнання; під час визначення інерційних сил приймаємо масу стріли як масу однорідного стрижня, а маси блоків – як зосереджені маси; у зв'язку з великою повздовжньою жорсткістю стріли у розрахунках нею нехтуємо; жорсткісні параметри системи обмежені механічними можливостями виробничого характеру.



1 – грейфер, 2 – головні блоки,
3 – стріла, 4 – система підвісу стріли,
5 – база

Рис. 12 – Принципова схема
стрілового крана з грейферним
обладнанням



1- грейферне обладнання;
2 – стріла; 3 – демпферний пристрій;
4 – привод

Рис. 13 – Схема моделі стрілового
крана з встановленим демпферним
пристроєм

З аналізу руху системи рівняння Лагранжа II роду визначено кінетичну енергію системи:

$$T = \frac{1}{2} \cdot I_0 \cdot \omega = \frac{\omega}{2} \cdot (I_0^{(1)} + I_0^{(2)}) = \frac{1}{2} \cdot \left(l^2 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot m_1 + m_2 \right) \right) \dot{\varphi}^2,$$

де m_1, m_2 – маси стріли та блоків; l – довжина стріли; $\dot{q} = \dot{\varphi} = \omega$ – кутова швидкість стрижня.

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

Для зменшення амплітуди коливань в балочну систему підвісу стріли встановлюємо на передній опорі л-образної стійки пружний елемент, який зменшує жорсткість системи, а для зниження часу загасання коливань в систему вводимо демпфер (рис. 13), який встановлюємо паралельно пружинному елементу.

Теоретичні дослідження

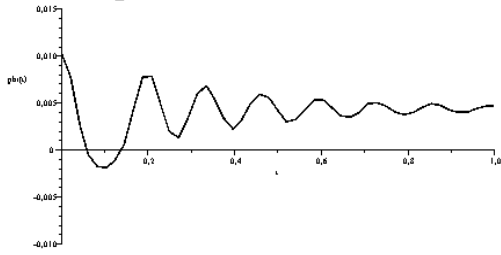


Рис. 14 – Графік коливання стріли при вантовій підвісці

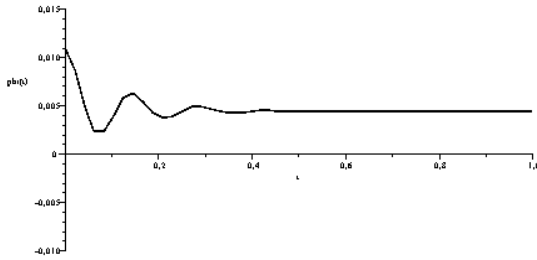


Рис. 16 – Графік коливання стріли при балочній підвісці зі зменшеною жорсткістю та встановленим демпферним пристроєм

Величину коефіцієнта динаміки можна зменшити майже у два рази до $k_d = 1,4 \dots 1,8$, що в свою чергу приведе до зменшення навантажень на металоконструкції поворотної платформи, нижньої рами і опорно-ходові елементи.

У четвертому розділі наведено експериментальні дослідження процесів навантажень на опорно-ходові елементи стрілових самохідних кранів.

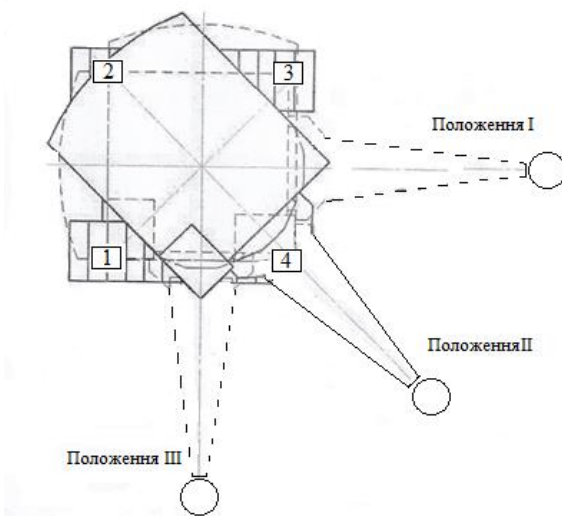


Рис. 18 – Розташування вимірювальних балок

Експериментальні дослідження

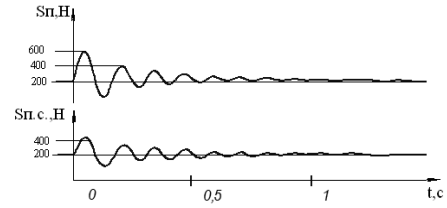


Рис. 15 – Діаграма навантажень на металоконструкцію та опорно-ходові елементи з вантовою підвіскою стріли

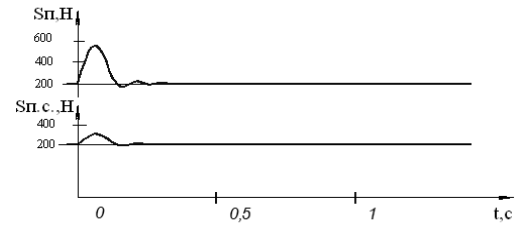


Рис. 17 – Діаграма навантажень на металоконструкцію та опорно-ходові елементи стрілового крана з балочною підвіскою стріли при зменшеній жорсткості та вставленому демпферному пристрої

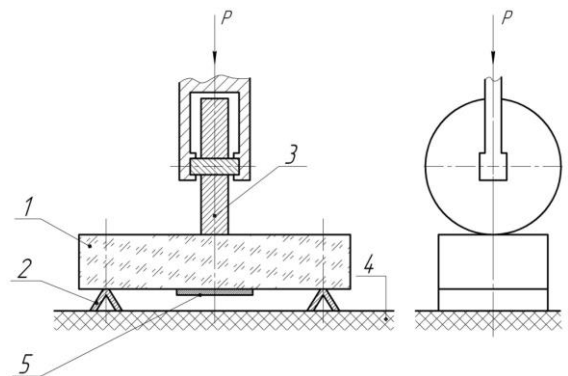


Рис. 19 – Схема вимірювання навантажень під опорними катками



Рис. 20 - Зображення гусеничного ходу моделі

Розроблено конструкцію фізичної моделі стрілового гусеничного крана МКГ-25БР лінійним масштабним коефіцієнтом $k_{сер}^l = 10,22$. Експеримент проводився для трьох положень стріли, а саме повздовж та поперек гусениць, при повороті на кут 45° .

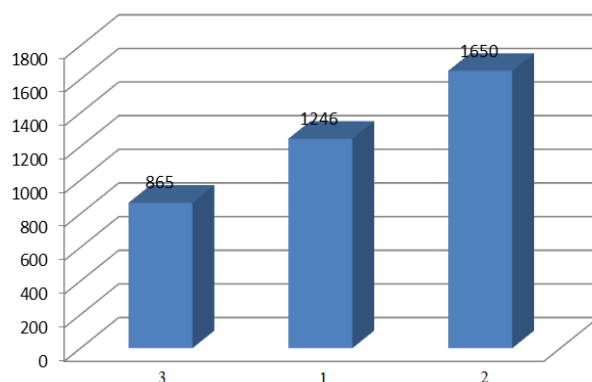


Рис. 21 – Гістограма навантажень на опорно-ходові елементи фізичної моделі крана в процесі повороту стріли

Результат експерименту практично співпадає з розрахунковими даними навантажень на гаку крана, а при розрахунку максимальних навантажень з урахуванням динамічних навантажень похибка складає 18,6%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримано нове вирішення актуальної науково-технічної задачі, що полягає в удосконаленні методів розрахунку навантажень на опорно-ходові елементи самохідних кранів стрілових кранів при роботі в складних умовах і обґрунтуванню конструкцій підвісів стріли зі зменшеною жорсткістю.

Основні висновки і практичні результати отримані в процесів виконання роботи наступні:

1. Аналіз науково-технічних, патентних рішень конструкцій опорно-ходових елементів та існуючих методів їх розрахунку показав, що при дослідженні стійкості стрілових самохідних кранів основна увага приділяється визначенню величини навантажень на ці елементи, при цьому недостатня увага приділяється процесу взаємодії опорних елементів з ґрунтом і впливу на їх величину фізико-механічних характеристик, особливо жорсткості і податливості ґрунтів.

2. Вперше отримано математичні моделі, які описують процес взаємодії опорно-ходових елементів стрілових самохідних кранів і їх контурів з опорною площиною у вигляді ґрунту, який має різні коефіцієнти

податливості або жорсткості, що дозволили визначити величину навантажень на опорно-ходові елементи та характер їх перерозподілу на окремі опори в процесі роботи крана. Обґрунтована доцільність застосування наведених методик для визначення навантажень на опорні елементи чотирьох, восьми та багатоопорних контурів стрілових кранів.

Результати теоретичних досліджень показали значні зміни навантажень на окремі опори, які змінюються в межах від $(0...10\%)G_{кр+в}$ від ваги крана з вантажем до $(60...100\%)G_{кр+в}$, що необхідно враховувати при визначенні стійкості кранів в залежності від характеристик опорної площини.

3. Отримані аналітичні залежності зміни величини динамічних навантажень на металоконструкцію, поворотну частину і опорно-ходові елементи крана, що виникають при раптовій зміні навантажень на робочий орган (гак або грейфер) і вплив на їх величину системи підвісу стріли кранів. Для цього обґрунтована розрахункова схема по дослідженню динамічних навантажень на металоконструкції, поворотну платформу і опорно-ходові елементи стрілових самохідних кранів з урахуванням системи підвісу стріли. За розрахунковими схемами складена математична модель яка враховує жорсткість, інерційність та переміщення системи. За допомогою математичної моделі проведений теоретичний розрахунок і отримані діаграми коливань системи, за якими визначено систему з найменшою частотою та часом згасання коливань, що відповідає балочній системі підвісу стріли зі зменшеною жорсткістю. Розроблена математична модель, яка дозволила визначити коефіцієнт динаміки для різних систем підвісу стріли та за рахунок зміни параметрів системи знайти оптимальний варіант, в якому частота коливань та час їх затухання зменшилися відповідно на 1/3 та в 6 разів.

4. Розроблені фізичні моделі та методики дослідження навантажень на опорно-ходові елементи стрілових самохідних кранів та за допомогою тензорегістраційного метода проведені експериментальні дослідження, які показали адекватність теоретичних і експериментальних досліджень з похибкою від 13,6% для дослідження динамічних навантажень до 18% для досліджень навантажень на опорно-ходові елементи чотирьохопорного контуру і до 22% для багатоопорного контуру при взаємодії їх з ґрунтом. Окремо проведені експерименти на фізичній моделі крана з чотирьохопорним контуром на жорсткій поверхні показали нерівномірність навантаження на окремі опори і втрату стійкості моделі при раптовому знятті навантажень з вантажозахоплюючого або вантажоутримуючого органу.

5. На основі порівняльного аналізу теоретичних і експериментальних навантажень на опорно-ходові елементи встановлено вплив конструкцій систем підвісу стріли самохідного стрілового крану на величину динамічних навантажень та показано основні напрямки їх зниження шляхом застосування пружньо-демпферних пристроїв та комбінованої балочно-вантової системи, що дає змогу знизити коефіцієнт динаміки з 1,5 до 1,25, що дозволить урахувати його при визначенні стійкості крана.

6. Запропонована методика розрахунку навантажень на опорно-ходові елементи самохідних стрілових кранів рекомендована для підприємств, що займаються проектуванням, експлуатацією і виготовленням стрілових кранів на прикладі ПАО «Науково-дослідницький та проектно-технологічний інститут машинобудування», а також використовується в науковій та навчальній роботі кафедри «Підйомно-транспортних машин» Донбаської державної машинобудівної академії при викладанні розділів дисциплін «Спеціальні крани» та «Машини для земляних, дорожніх і меліоративних робіт» для освітнього рівня бакалавр, а також в курсових та науково-дослідних роботах магістрів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Крупко В.Г., Койнаш В.А., Єрмакова С.А. (Козюлькина С.А.) Методика определения устойчивости железнодорожного крана 7Ж72 с учетом условий опирания аутригеров на грунт / Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті. Випуск 58. - Харків 2004. – С. 30-35.

2. Крупко В.Г., Койнаш В.О., Єрмакова С.О. Обґрунтування навантажень на гусеничні рушії землерийних машин // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Выпуск 31. - Харьков. - 2012 - С. 178-182.

3. Єрмакова С.А. Анализ параметров и нагруженности опорного оборудования самоходных стреловых кранов / Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. Випуск № 1 (30) 2013. - Краматорськ. – С. 48-52.

4. Єрмакова С.О., Крупко В.Г. Основні шляхи підвищення безпеки і надійності експлуатації стрілових кранів / Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета / Сборник научных трудов. Выпуск 65-66. - Х.: 2014. – 311 с. С. 189 – 192.

5. Крупко В.Г., Єрмакова С.О. Моделювання систем підвісу стріл одноківшових екскаваторів та самохідних кранів / Одеський національний політехнічний університет, Підйомно-транспортна академія наук України // Підйомно-транспортна техніка. 3(59) – м. Одеса – 2018р. – С. 93-99.

6. 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.

7. Іваненко О.І., Крупко І.В., Єрмакова С.О. Дослідження стійкості баштових кранів з урахуванням розподілу навантажень на опорні елементи / Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. Випуск № 3 (47) 2019. – Краматорськ. – С. 46-50.

8. Іваненко О.І. , Крупко І.В. , Єрмакова С.О. Теоретичні дослідження стійкості баштового крана з рахуванням розподілу навантажень на опори /

Одеський національний політехнічний університет, Підйомно-транспортна академія наук України // Підйомно-транспортна техніка. 3 (64) – м. Одеса - 2020. - с.81-95.

Статті у міжнародних виданнях:

9. Krupko I., Yermakova S. Main directions of improvement of methods of calculation of loads on carrying and propelling devices of lifting and transport and excavating machines / Sciences of Europe. Praha, Czech Republic. - VOL 1, No 65 (2021). – p. 32-38. ISSN 3162-2364. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-65-1-32-38.

10. 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.

Статті у інших виданнях:

11. Ермакова С.А. (Козюлькина С.А.) Обоснование нагрузок на опорные элементы кранов на рельсовом ходу / Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури // Матеріали IV міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Випуск 2005-4 (52). – Макіївка. – 2005 – С. 123-126.

12. Крупко В.Г., Ермакова С.А. (Козюлькина С.А.) Анализ устойчивости железнодорожных кранов / Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури // Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. Випуск 2006-6 (62). – Макіївка. – 2006 – С. 159-161.

Тези доповідей та матеріалів конференцій:

13. Ермакова С.А. (Козюлькина С.А.) Оценка нагруженности аутригеров стреловых кранов / Перспективные технологии и оборудование производства подъемно-транспортных машин и шахтного оборудования: Тезисы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Интеллект молодых – производству 2005». – Краматорск: ОА «НКМЗ». – 2005. – С. 106-107.

14. Ермакова С.А. (Козюлькина С.А.), Крупко В.Г. Математическое моделирование нагруженности опорных элементов стреловых кранов / Сборник материалов первой международной научно-технической конференции молодых специалистов «Азовмаш - 2006» // Секция проектирования эксплуатации и ремонта горно-кранового оборудования. Тезисы: ОАО «Азовмаш» (10 июня 2006 года, г. Мариуполь). – Мариуполь. – 2006. – С. 38.

15. Ермакова С.А. Анализ параметров опорных контуров стреловых кранов / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції (4-6 червня 2013 року). – Краматорськ: ДДМА, 2013. - С. 47.

16. Єрмакова С.О. Стійкість кранів у надзвичайних умовах експлуатації / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції (23-24 вересня 2014 року). – Краматорськ: ДДМА, 2014. - С. 36.

17. Єрмакова С.О. Дослідження стійкості стрілових самохідних кранів / Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів». (21-23 травня 2018 р.)- Дніпро. – 2018. – С. 14-15.

18. Єрмакова С.О. Дослідження умов роботи стрілових самохідних кранів / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку // Матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції (29-31 травня 2018 року). – Краматорськ: ДДМА, 2018. - С. 24.

19. Єрмакова С.А. Устойчивость как основной критерий безаварийной работы самоходных кранов / Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (31 жовтня – 02 листопада 2018 року). - Краматорськ: ДДМА, 2018. - С. 53-54.

20. Єрмакова С.О. Шляхи забезпечення надійної та безпечної роботи стрілових самохідних кранів / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку // Матеріали XVII міжнародної науково-технічної конференції (04-07 травня 2019 року). – Краматорськ: ДДМА, 2019. - С. 34.

21. Єрмакова С.О. Обґрунтування параметрів опорних елементів мобільних стрілових кранів за різних умов роботи / Международная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию НКМЗ // «Современные комплексы оборудования для добычи, обогащения и транспортировки полезных ископаемых. Перспективы развития технологических процессов». – 18-21 июня 2019 года. С. 15-16.

22. Єрмакова С.О. Особливості навантаженості опорних елементів баштових кранів в процесі роботи / Молодь і наука: виклики та перспективи: збірник тез наукової конференції молодих вчених 14 грудня 2020 р., – Краматорськ: Донецька обласна державна адміністрація, Рада молодих вчених при Донецькій облдержадміністрації, 2020. – С. 73-74.

23. Дорохов М.Ю., Єрмакова С.О., Анісимов А.І. Розробка обладнання для дослідження навантажень на опорний контур баштового крану / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку // Матеріали XVIII міжнародної науково-технічної конференції (21-24 грудня 2020 року). – Краматорськ: ДДМА, 2020. - С. 27.

АНОТАЦІЯ

Єрмакова С.О. Обґрунтування навантажень на опорно-ходове обладнання стрілових самохідних кранів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.05 – піднімально-транспортні машини. - Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2021.

Дисертація присвячена розробці й удосконаленню методів розрахунку навантажень на опорно-ходові елементи стрілових самохідних кранів з урахуванням умов опирання машин на ґрунт при їх роботі в складних експлуатаційних ситуаціях.

Проведено аналіз існуючих методів розрахунку навантажень на опорно-ходові елементи, які застосовуються для визначення стійкості стрілових кранів. Запропоновано спосіб визначення навантажень на опорно-ходові елементи та опорні площини з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів. Розроблені розрахункові схеми та математичні моделі, які враховують жорсткість, інерційність та умови зміни положення машини при деформації опорної площини, удосконалено методи розрахунків навантаженості опорних елементів. Визначено, що в процесі роботи крана при виникненні динамічних навантажень, викликаних жорсткістю системи, можливі значні коливання навантаженості ходового обладнання, що веде до перерозподілу навантажень на опорні елементи. Знайдено шляхи зниження цих навантажень за допомогою демпферних пристроїв. Розроблені фізичні моделі стрілових самохідних кранів та проведені експериментальні дослідження адекватності результатів математичного і фізичного моделювання процесів роботи крана і визначення навантаженості опорно-ходових елементів. Аналіз отриманих результатів показав адекватність теоретичних і експериментальних досліджень з похибкою від 13,6% для дослідження динамічних навантажень до 18% для досліджень навантажень на опорно-ходові елементи чотирьохопорного контуру і до 22% для багатоопорного контуру при взаємодії їх з ґрунтом. Окремо проведені експерименти на фізичній моделі крана з чотирьохопорним контуром на жорсткій поверхні, які показали нерівномірність навантаження на окремі опори і втрату стійкості моделі при раптовому знятті навантажень з вантажозахоплюючого або вантажоутримуючого органу. На основі порівняльного аналізу теоретичних і експериментальних навантажень на опорно-ходові елементи встановлено вплив конструкцій систем підвісу стріли самохідного стрілового крана на величину динамічних навантажень та показано основні напрямки їх зниження шляхом застосування пружньо-демпферних пристроїв та комбінованої балочно-вантової системи, що дає змогу знизити коефіцієнт динаміки з 1,5 до 1,25, що дозволить урахувати його при визначенні стійкості крана.

Ключові слова: стріловий самохідний кран, опорно-ходове обладнання, опорні елементи, опорний контур, опорна площа, стійкість, навантаженість, динамічні навантаження, демпфуючий пристрій.

АННОТАЦІЯ

Ермакова Светлана Александровна. Обоснование нагрузок на опорно-ходовое оборудование стреловых самоходных кранов. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.05 – «подъемно-транспортные машины» – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена разработке и совершенствованию методов расчета нагрузок на опорно-ходовые элементы стреловых самоходных кранов с учетом условий опирания машин на почву при их работе в сложных эксплуатационных ситуациях.

Проведен анализ существующих методов расчета нагрузок на опорно-ходовые элементы, которые применяются для определения устойчивости стреловых кранов. Предложен способ определения нагрузок на опорно-ходовые элементы и опорные плоскости с учетом физико-механических свойств грунтов. Разработанные расчетные схемы и математические модели, учитывающие жесткость, инерционность и условия изменения положения машины при деформации опорной плоскости, усовершенствованы методы расчетов нагруженности опорных элементов. Определено, что в процессе работы крана при возникновении динамических нагрузок, вызванных жесткостью системы, возможны значительные колебания нагруженности ходового оборудования, что ведет к перераспределению нагрузок на опорные элементы. Найдены пути снижения этих нагрузок с помощью демпферных устройств. Разработаны физические модели стреловых самоходных кранов и проведены экспериментальные исследования адекватности результатов математического и физического моделирования процессов работы крана и определение нагруженности опорно-ходовых элементов. Анализ полученных результатов показал адекватность теоретических и экспериментальных исследований с погрешностью от 13,6% для исследования динамических нагрузок до 18% для исследований нагрузок на опорно-ходовые элементы четырехопорного контура и до 22% для многоопорных контура при взаимодействии их с почвой. Отдельно проведены эксперименты на физической модели крана с четырехопорным контуром на жесткой поверхности, которые показали неравномерность нагрузки на отдельные опоры и потерю устойчивости модели при внезапном снятии нагрузки с грузозахватного или грузодерживающего органа. На основе сравнительного анализа теоретических и экспериментальных нагрузок на опорно-ходовые элементы, установлено влияние конструкций систем подвеса стрелы самоходного стрелового крана на величину динамических нагрузок, и показаны основные направления их снижения путем применения упруго-демпферных устройств и комбинированной балочно-вантовой системы, что позволяет снизить коэффициент динамики с 1,5 до 1,25, что позволит учесть его при определении устойчивости крана.

Ключевые слова: стреловой самоходный кран, опорно-ходовое оборудование, опорные элементы, опорный контур, опорная плоскость, устойчивость, нагруженность, динамические нагрузки, демпферное устройство.

SUMMARY

Yermakova S. Substantiation of loads on the support and running equipment of self-propelled jib cranes. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.05.05 - hoisting-and-transport cars. - Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to development and perfection of methods of calculation of loadings on basic and running elements of jib self - propelled cranes taking into account conditions of leaning of cars on the ground at their work in difficult operational situations.

The analysis of existing methods of calculation of loadings on basic and running elements which are applied to definition of stability of jib cranes is carried out. A method for determining the loads on the supporting and running elements and support planes taking into account the physical and mechanical properties of soils is proposed. Calculation schemes and mathematical models are developed, which take into account the rigidity, inertia and conditions of changing the position of the machine during the deformation of the reference plane, improved methods for calculating the load of the support elements. It is determined that in the process of crane operation in the event of dynamic loads caused by the rigidity of the system, significant fluctuations in the load of the running gear are possible, which leads to redistribution of loads on the supporting elements. Ways to reduce these loads with the help of damping devices have been found. Physical models of jib self-propelled cranes are developed and experimental researches of adequacy of results of mathematical and physical modeling of processes of work of the crane and definition of loading of basic and running elements are carried out. The analysis of the obtained results showed the adequacy of theoretical and experimental studies with an error from 13.6% for the study of dynamic loads to 18% for studies of loads on the supporting elements of a four-support circuit and up to 22% for a multi-support circuit when interacting with soil. Separate experiments were performed on a physical model of a crane with a four-support contour on a rigid surface, which showed uneven load on individual supports and loss of stability of the model when suddenly removing loads from the load-carrying or load-holding body. Based on the comparative analysis of theoretical and experimental loads on the support-running elements, the influence of self-propelled jib crane suspension systems on the value of dynamic loads is shown and the main directions of their reduction are shown by using elastic-damping devices and combined beam-cable system. speakers from 1.5 to 1.25, which will take it into account when determining the stability of the crane.

Key words: self-propelled jib crane, support and running equipment, support elements, support contour, reference plane, stability, load, dynamic loads, damping device.

Підп. до друку 25.03.2021 Формат 60×84.1/16
Ум. друк. арк. 1,3. Обл.-вид. арк. 0,9.
Тираж 100 пр. Зам. № 25

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003