

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВАНТАЖНОЇ СТІЙКОСТІ СТРІЛОВОГО САМОХІДНОГО КРАНА

©Подольак О.С., Аненко К.К., Староста Ж.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Подольак Олег Степанович ORCID: 0000-0002-1477-8548; podoliak15os@gmail.com;
завідувач кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Аненко Костянтин Костянтинович ORCID: 0000-0002-3103-4786;
lorenkotcastiel@gmail.com; аспірант кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Староста Жанна Степанівна ORCID: 0000-0002-6656-3602; starostazanna@gmail.com;
аспірантка кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Стаття спрямована на пошук найбільш ефективного методу підвищення вантажної стійкості стрілового самохідного крана. Увагу приділено огляду літературних джерел та патентів. Розглянуто метод підвищення стійкості до перекидання гусеничних кранів, де використовуються рухомі противаги. Показано, що стабільна область положення рухомих противаг суттєво змінюється залежно від конфігурації крана та маси його корисного навантаження. В іншому випадку для підвищення безпечності введено два індекси. Визначено, що знаходження сили опори є ефективним засобом запобігання перекидання мобільного крана або виходу з ладу опори. Представлено механічну модель автокрана. Розглянуто спосіб підвищення стійкості до перекидання мобільного крана з врахуванням коливання корисного навантаження. Корисність цих кранів значно покращується, якщо вони можуть використовувати свою мобільну базу під час підйому та перенесення фаз експлуатації. Представлено принципову схему мобільного стрілового крана, що використовується для статичного аналізу. Також показано залежності максимально можливого корисного навантаження від кута повороту. Розглянуто варіант підйомного самохідного крана та спосіб його експлуатації, де є можливість знизити повну вагу противаги порівняно з іншими кранами такої ж вантажопідйомності. Наведено схему підйомного самохідного крана. Виявлено недостатню кількість досліджень спрямованих на розвиток та вдосконалення вантажної стійкості стрілових самохідних кранів. Знайдено перспективу подальшого вивчення питання щодо покращення конструкції противаги шляхом корегування зміни положення противаги залежно від маси корисного навантаження і урахування зовнішніх чинників.

Ключові слова: стріловий самохідний кран; вантажна стійкість; конструкція противаги; виносні опори; перекидання крана.

Podoliak O., Anenko K., Starosta Zh. "Review of the status of the issue of ensuring the load stability of the self-propelled jib crane."

The article is aimed at finding the most effective method to increase the load stability of a self-propelled jib crane. Attention is paid to the review of literature sources and patents. The

method of increasing the resistance to overturning of crawler cranes, where movable counterweights are used, is considered. It is shown that the stable region of the position of the movable counterweights varies significantly depending on the configuration of the crane and the mass of its payload. Otherwise, two indexes have been introduced to increase security. It is determined that finding the support force is an effective means of preventing the mobile crane from tipping over or the support from failing. A mechanical model of a truck crane is presented. The method of increasing the resistance to overturning of the mobile crane considering the fluctuations of the payload is considered. The utility of these cranes is greatly improved if they can use their mobile base during lifting and transfer of operation phases. The schematic diagram of a mobile jib crane used for static analysis is presented. The dependences of the maximum possible payload on the angle of rotation are also shown. The variant of the self-propelled crane and a way of its operation where there is a possibility to reduce full weight of a counterweight in comparison with other cranes of the same loading capacity are considered. The scheme of the self-propelled crane is offered. It is determined that the insufficient number of studies is aimed at the development and improvement of load stability of jib cranes. The prospect of further improvement of the counterweight design by adjusting the change in the position of the counterweight depending on the payload and taking into account external factors is outlined.

Keywords: self-propelled jib crane; cargo stability; counterweight design; remote supports; overturning the crane.

Актуальність

Вантажні підйомні крани є невід’ємною частиною сучасного будівництва, особливо багатопверхових будівель. Тому є важливим приділити велику увагу безпечності, вантажній стійкості, мобільності та удосконаленню конструкцій вантажопідйомних кранів.

Частою проблемою є перекидання стрілових самохідних кранів. Вантаж, який піднімає кран намагається перекинути його. Це відбувається з таких причин: перевищення допустимих норм маси вантажу, які встановив виробник; недостатня маса противаги; робота в умовах з сильними поривами вітру техніки, стійкість якої недостатня для проведення цих робіт; виконання вантажопідйомних дій без встановлення виносних опор або неправильне їх встановлення; неправильна підготовка площі для встановлення крану, потрібно виключити ймовірність просідання ґрунту; переміщення машини з підвішеним вантажем. Наслідком перекидання є повне руйнування крана, який далі неможливо відновити, додатково до цього, знищення майна та каліцтво людей.

Відповідно до [1] складові частини противаги і баласту мають бути закріплені або укладені в кожух для запобігання їх падінню та для унеможливлення зміни встановленої маси. У разі застосування для противаги або баласту дрібного штучного вантажу він вміщується в металевий ящик, влаштований так, щоб унеможлилювалися попадання в нього атмосферних опадів і втрата вантажу; застосовувати для противаги або баласту пісок, гравій і щебінь не дозволяється; на кранах стрілового типу як баласт і противага мають бути передбачені інвентарні марковані вантажі, виготовлення й укладання яких здійснюється за кресленнями розробника крана; Пересувні противаги мають переміщуватися автоматично зі зміною вильоту або мати видимий машиністу показник положення противаги залежно від вильоту.

Метою статті є проведення розгляду опублікованих джерел та способів підвищення вантажної стійкості стрілових самохідних кранів.

Основна частина

Противагу на крані забезпечують урівноважувальні сили, щоб кран не перекидався під час піднімання та переміщення важкого вантажу. Рухливі противаги мають низку переваг з точки зору ваги, мобільності і простоти використання в порівнянні з аналогічними кранами з фіксованими противагами. Кран з рухомими противагами використовує меншу загальну масу для власної противаги, оскільки він може переміщувати вантаж в різні місця для врівноваження вантажу. З огляду на меншу масу противаги, кран легше переміщувати як з одного робочого майданчика на інший, так і на будь-якому конкретному робочому майданчику. Рухомі противаги також спрощують роботу, оскільки не потрібно додавати і знімати масу противаги, оскільки корисне навантаження чергується з важкого на легке[2].

У статті [2] досліджується стійкість до перекидання гусеничних кранів з використанням рухомої противаги. Для визначення стійкості пропонується метод, який базується на мірі запасу стійкості кута сили. Індекс моменту перекидання в прямому і зворотному напрямках використовується, як критичний стан перекидання. Результати показують, як змінюються максимальне та мінімальне безпечне положення рухомої противаги в різних робочих умовах. Положення противаги регулюється для того, щоб гусеничний кран став стабільним при зміні кута стріли. Результати показують, що стабільна область положення рухомих противаг суттєво змінюється в залежності від конфігурації крана та маси його корисного навантаження.

На рис. 2 зображено кран із рухомою противагою, який був запатентований Cohen-Venezian.

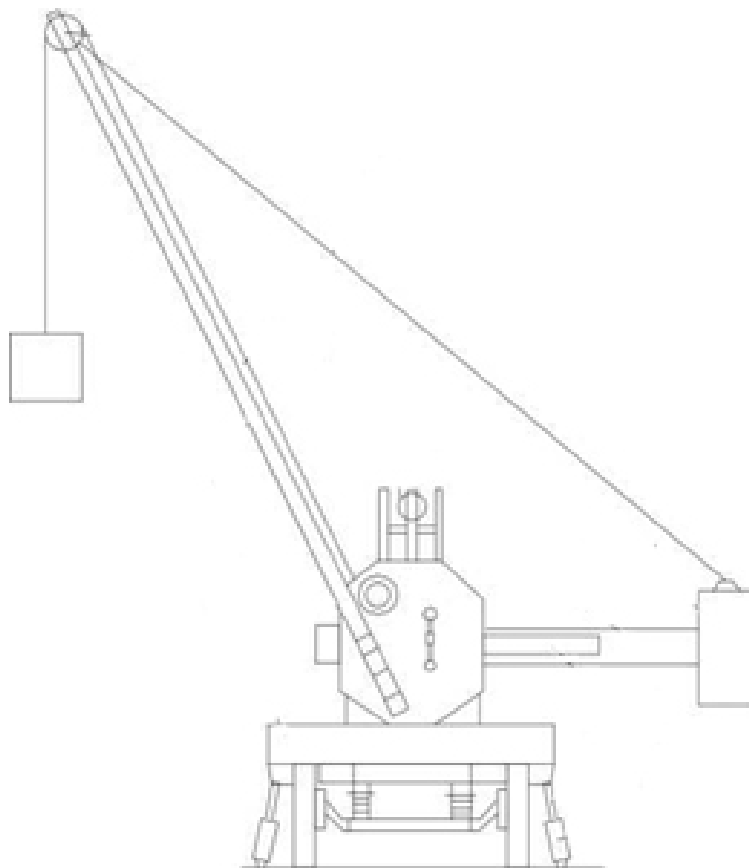


Рис.1 – Кран із рухомою противагою

У роботі [3] для вдосконалення заходів безпеки введені два індекси, тобто індекс моменту та індекс сили, які кількісно визначають тенденцію перекидання мобільних кранів та вивчають несучу здатність виносного механізму.

На рис. 2 представлений зовнішній вигляд мобільного гідравлічного крана, який розміщений горизонтально на платформі. Взявши платформу за базовий рівень, прямокутні координати з віссю X, Y - та Z встановлюються на перетині з центральною віссю обертання [3].

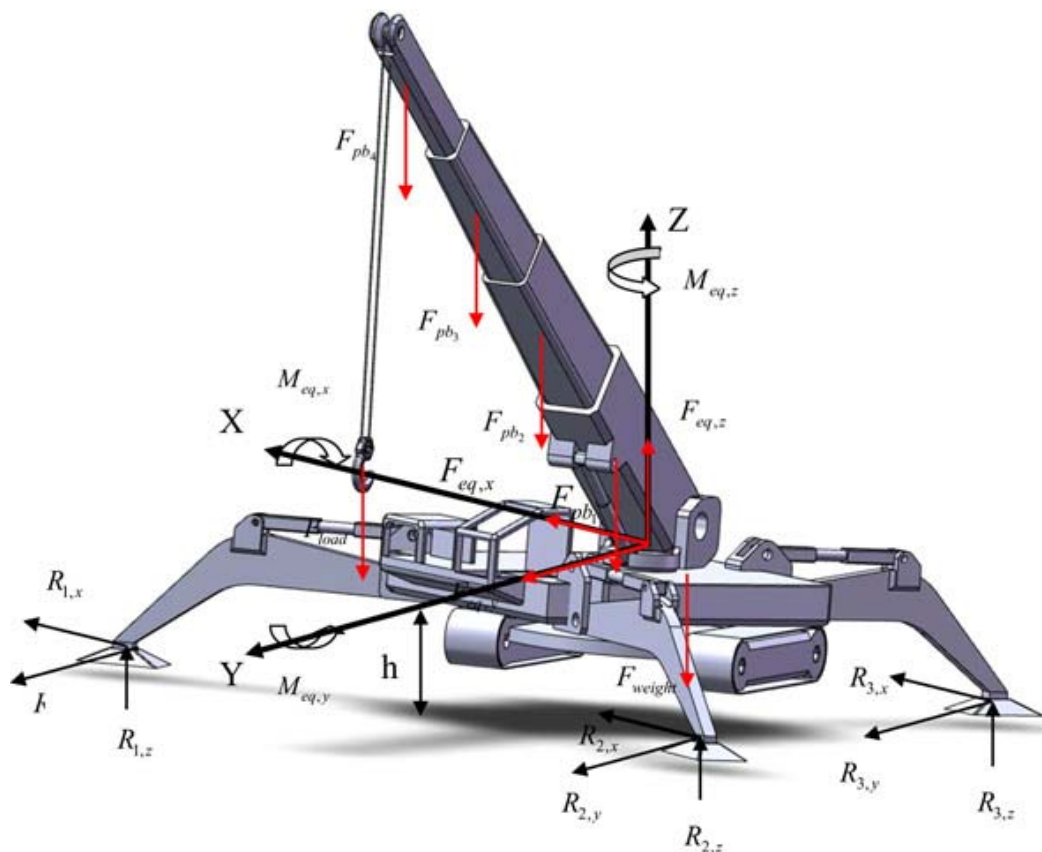


Рис.2 – Механічна модель автокрана

Де F_{weight} - гравітаційна сила верхньої рухомої платформи крана; F_{pbj} - сила тяжіння ділянки j телескопічної стріли; $F_{eq,x}$, $F_{eq,y}$, $F_{eq,z}$ - три складові сили рівноваги; $M_{eq,x}$, $M_{eq,y}$, $M_{eq,z}$ - три складники моменту рівноваги; $R_{1,x}$, $R_{1,y}$, $R_{1,z}$ - три компоненти сили реакції опори i ; F_{load} - гравітаційна вага піднятого вантажу;

У [4] досліджено стійкість до перекидання мобільного крана з урахуванням коливань корисного навантаження. Напівдинамічна модель була розроблена для розширення аналізу на врахування простих маневрів руху, які викликають коливання корисного навантаження та сили інерції. Результати напівдинамічного аналізу узгоджуються з результатами повного динамічного моделювання мобільного стрілового крана для низьких значень кута нахилу. Експерименти з апаратом з одним маятниковим краном підтвердили результати. Оцінка напівдинамічної моделі надає корисний і простий інструмент для дослідження стійкості до перекидання двомаятникових мобільних стрілових кранів з корисним навантаженням.

Також на рис.3. у роботі [4] представлена принципова схема мобільного стрілового крана, що використовується для статичного аналізу. Модель складається з платформи для

візків з шинами, обертової стріли та тросів з масами кінцевих точок. Візок виконаний у вигляді тонкої пластини і має масу m_c і центр ваги на відстанях l_{com} і b_{com} від геометричного центру. Стріла може обертатися на кут β навколо точки, розташованої на відстані l_a перед геометричним центром візка. Стріла встановлюється зверху обертової платформи на відстані l_{a2} перед центром обертання платформи. Стріла має масу m_b , довжину l_b і центр маси, розташований на відстані l_{bcom} від точки кріплення. Стріла може бути піднята з легким рухом під кутом α . Чотири колеса прикріплені до днища візка. Колеса розділені l_c у поздовжньому напрямку та b_c у бічному напрямку. Підвісні троси l_1 і l_2 мають незначну масу порівняно з корисними навантаженнями m_1 і m_2 , прикріплені на кінці сегментів тросу. Коливання корисного навантаження подвійного маятникового крана визначаються у поздовжньому та поперечному напрямках відносно візка. Кути φ_1 та φ_2 описують коливання корисного навантаження m_1 та m_2 , відповідно у поздовжньому напрямку. Подібним чином кути θ_1 і θ_2 описують коливання корисного навантаження m_1 і m_2 у поперечному напрямку до візка.

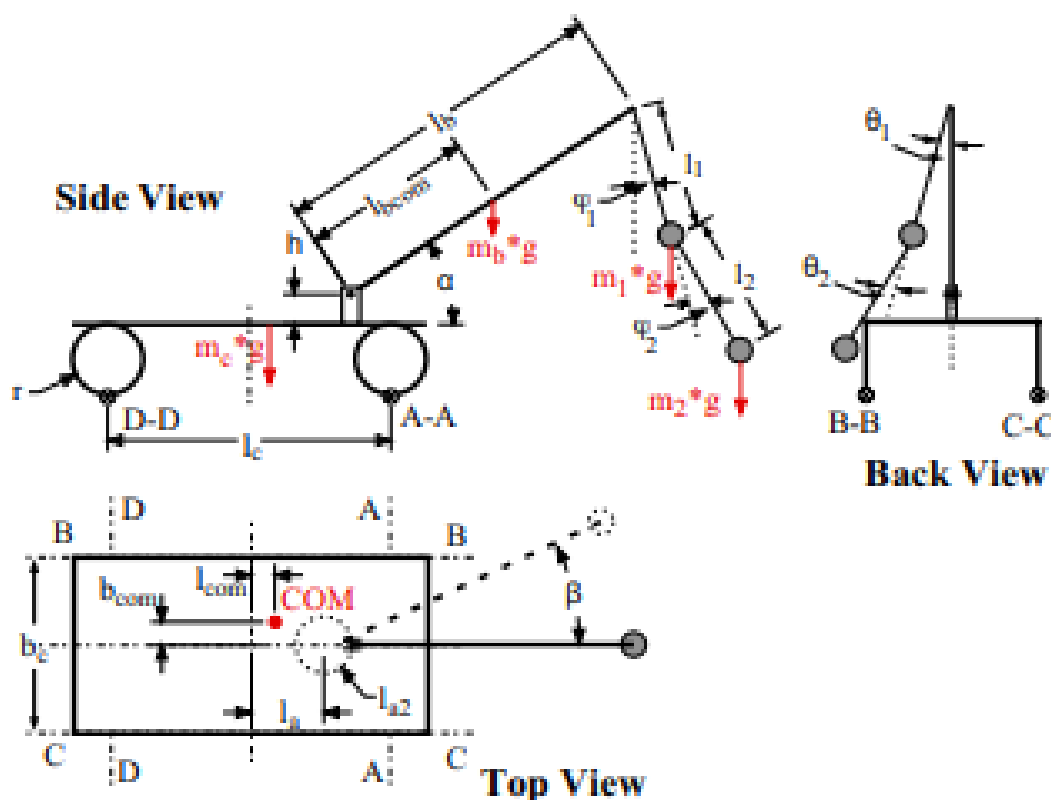


Рис.3 – Принципова схема мобільного стрілового крана.

У статті [4] показані залежності максимально можливого корисного навантаження від кута повороту β для різних значень кута вильоту стріли α , а також максимальні кути повороту для підвісу для різних максимальних швидкостей і прискорення. Відповідно до винаходу [5] пропонується самохідний підйомний кран і відповідний спосіб експлуатації для кранів невеликої вантажопідйомності. Цей спосіб дозволяє знизити повну вагу противаги порівняно з іншими кранами такої ж вантажопідйомності, проте при цьому

кран все ще є самохідним краном. Він може піднімати вантаж, який відповідає вантажам, що підіймаються іншими кранами і мають противагу зі значно більшою повною вагою. Також можлива варіативність і модифікація цього винаходу. Самохідний підйомний кран показано на рис.4.

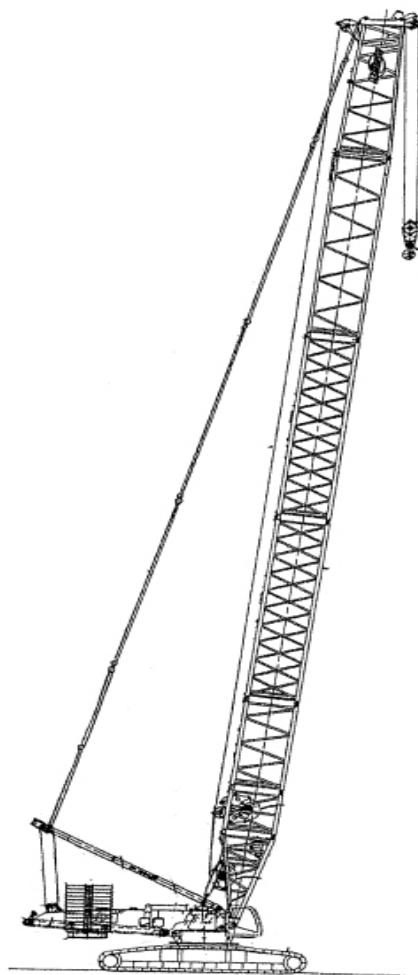


Рис. 4 – Самохідний підйомний кран

Висновки

Виконавши аналіз патентних досліджень та праць науковців, які розв'язують питання забезпечення вантажної стійкості вантажопідйомних кранів, можна зробити висновок, що удосконалення вантажної стійкості стрілового самохідного крана не було досліджено повною мірою.

Визначено, що перспективою подальшого вивчення питання є покращення конструкції противаги шляхом корегування зміни положення противаги в залежності від маси корисного навантаження та урахування зовнішніх чинників.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів та машин спеціального військового призначення : Наказ М-ва оборони України від 01 груд. 2016 р. N 653. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1727-16#Text>. (дата звернення: 21.04.2021).
2. Liu H., Tip-Over Stability of Crawler Cranes with Moveable Counterweights / H. Liu, W. Singhose, W. Cheng // *Heavy Machinery-НМ* : 8 International Conference, 25-28 June 2014. – Serbia : Zlatibor, 2014. – P. 137–143.
3. Jeng S. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization / S. Jeng, C. Yang, W. Chieng // *Mechanics Based Design of Structures And Machines*. – 2010. – Vol. 38, no. 2. – P. 145–170.
4. Tip-over stability analysis of mobile boom cranes with swinging payloads / A. Rauch, W. Singhose, D. Fujioka, T. Jones // *Journal Of Dynamic Systems, Measurement And Control, Transactions Of The ASME*. – 2013. – Vol. 135, no. 3. – P. 031008–031008-6.
5. Подъемный кран с перемещаемым противовесом : пат. 2556678 РФ: МПК В66С23/76 № 2010133069/11 / Дэвид Дж. Печ, Джозеф Р. Русински ; заявл. 06.08.2010 ; опубл. 10.07.2015. – Бюл. № 19.

References:

1. Ministerstvoa obrony Ukrayiny 2016, *Pro zatverdzhennya Pravyl budovy i bezpechnoyi ekspluatatsiyi vantazhopidiymalnykh kraniv ta mashyn spetsialnoho viyskovoho pryznachennya: Nakaz vid 01 hrudnya 2016 roku no. 653*, viewed 21 April 2021, <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1727-16#Text>>.
2. Liu, H, Singhose, W & Cheng, W 2014, ‘Tip-Over Stability of Crawler Cranes with Moveable Counterweights’, *VIII International Conference Heavy Machinery-НМ*, Zlatibor, pp. 137-143.
3. Jeng, S, Yang, C & Chieng, W 2010, ‘Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization’, *Mechanics Based Design of Structures And Machines*, vol. 38, no. 2. p. 145-170.
4. Rauch, A, Singhose, W, Fujioka, D & Jones, T 2013, ‘Tip-over stability analysis of mobile boom cranes with swinging payloads’, *Journal Of Dynamic Systems, Measurement And Control, Transactions Of The ASME*, vol. 135, no. 3, pp. 031008–031008-6.
5. Pech, DDzh & Rusinski, DzhR., 2015, *Podyemnyy kran s peremeshchayemym protivovesom*, RF Patent 2556678, МПК В66С23/76. № 2010133069/11.

Стаття надійшла до редакції 21 травня 2021 року