

Іваненко О. І., Щербак О. В., Любимов Ю. Ю.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ НА МОДЕЛІ БАШТОВОГО КРАНУ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРНИХ РЕАКЦІЙ

Розвиток і подальше удосконалення вітчизняних баштових кранів в наш час неможливе без ретельного дослідження навантажень, діючих на кран, обґрунтування конструкцій опор баштових кранів за різних умов роботи, без розробки прогресивних методів розрахунку стійкості, розрахунку навантажень на опори. Розглянуто питання визначення стійкості баштових кранів під час експлуатації з урахуванням впливу опорних реакцій. Запропоновано метод розрахунку стійкості крану із застосуванням комп'ютерного моделювання. Дослідження проводилось на моделі баштового крану на прикладі крану КБ-401.

Ключові слова: баштовий кран, стійкість, дослідження, реакція в опорах, модель, комп'ютерне моделювання, методика.

Актуальність дослідження. Баштові крани є найбільш застосованими серед будівельних кранів, які вирішують питання механізації вантажно-розвантажувальних робіт на будівництві. Але їх аварії складають 40% від загальної кількості аварій стрілових вантажопідйомних кранів.

Падіння баштових кранів відбувається як у нас в країні, так і за кордоном навіть при дотриманні всіх правил експлуатації і вимог безпеки. Розвиток і подальше удосконалення вітчизняних баштових кранів в наш час неможливе без дослідження навантажень, які діють на кран, обґрунтування конструкцій опор баштових кранів та їх впливу на стійкість за різними умовами роботи.

Постановка проблеми. Дослідження стійкості баштового крану за допомогою комп'ютерного моделювання з урахуванням розподілу опорних навантажень.

Теоретичний аналіз дослідження. Дослідженням в галузі міцності, стійкості і впливу на стійкість зовнішнього навантаження присвячені, вже досить тривалий час, праці таких звисних вчених як Невзорова Л.О., Зарецького О.О., [1]. Барштейна М.Ф. [2], Синельщикова О.В., Булатова Б.Л. [3–5] та ін.

Аналіз наукових праць за останні роки показав, що на стійкість баштових кранів впливають: недосконалість методів розрахунку [3], стан впливу динамічних навантажень [4], вплив навантажень на опорні елементи [5], діяння вітрових навантажень [6]. При розгляданні питань стійкості баштових кранів в роботах [5, 7], представлені основні способи визначення коефіцієнтів стійкості за різними умовами роботи.

Мета статті. Метою роботи є дослідження та розробка метода визначення стійкості баштового крану з урахуванням розподілу навантажень на опорні елемент за допомогою комп'ютерного моделювання.

Задачі дослідження. Розробка комп'ютерної моделі баштового крану на основі фізичної моделі на прикладі крану КБ-401. Проведення комп'ютерного моделювання по визначення стійкості крану з урахуванням розподілу опорних навантажень.

Основний матеріал дослідження.

Стійкість крана проти перекидання називається здатність протидіяти перекидаючому його моментам від вітрового навантаження, маси підйомального вантажу, динамічних навантажень та ухилу. До силових факторів, які утворюють перекидний момент, відносяться: маси консольно розташованих частин (стріли, противаги і стрілового обладнання), вітрове навантаження, маса вантажу, динамічне навантаження.

Відповідно до ГОСТ 13994-81 перевіряють стійкість: вантажну, власну і при раптовому знятті навантаження.

Критерієм виконання умов стійкості є відношення

$$k \cdot M_{пер} \leq m_o \cdot M_{утр}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт перевантаження;

$M_{пер}$ – перекидаючий момент;

m_o – коефіцієнт умов роботи;

$M_{утр}$ – утримуючий момент відносно ребра перекидання.

До розгляду також вводимо коефіцієнт стійкості K , який подає відношення утримуючого моменту до перекидаючого.

$$K = \frac{M_{ymp}}{M_{пер}} . \quad (2)$$

Як зазначається у роботі [4], ГОСТ 13994–81 не дає рекомендацій щодо розрахунку стійкості в різних експлуатаційних умовах, таких як поворот вежі крана, зміни вильоту, підйому (опускання) вантажу або суміщення робочих операцій. Динамічні навантаження, які виникають при русі крана при виконанні робочих операцій, можуть привести до різкої зміни навантажень на металоконструкцію крана, зміни навантажень на опори і рейкові шляхи баштового крана. Вплив зазначених факторів на стійкість можна визначити шляхом обчислення зміни реакції в опорах баштового крана при дії сполучення навантажень, що визначаються ГОСТ 13994–81, а також з урахуванням різних експлуатаційних умов. Також в роботі [4] автори використовують спрощену модель для проведення розрахунків.

Проведення експериментальних досліджень на базовому крані КБ-401 пов'язано з питаннями безпеки, тому для вирішення поставленої задачі була створена фізична модель крану у масштабі 1:40.

З метою порівняння результатів розрахунку на стійкість нами була розроблена комп'ютерна модель баштового крану, для якої проведено розрахунки на стійкість комп'ютерним динамічним моделюванням з використанням Autodesk Inventor 2018.

Для виконання динамічного моделювання насамперед потрібно створити комп'ютерну модель баштового крану (рис 1).

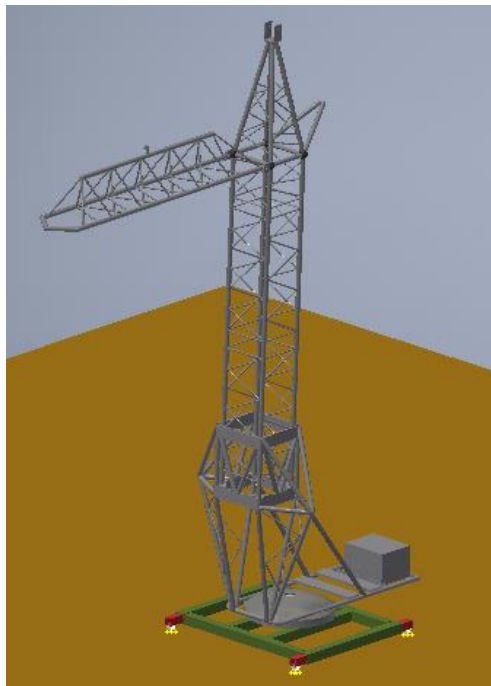


Рис. 1 Модель баштового крана на поверхні

Для проведення експерименту прикладаємо силу, яка імітує вантаж на кінці стріли (рис.2). Силу задаємо графіком з двома секторами: перший сектор тривалістю 1с і силою від 0 до 120Н і другий сектор тривалістю 0,1 с і силою від 120 до 0 Н (рис. 3). Таким чином ми будемо імітувати вантаж для спостереження, коли задня опора відірветься від поверхні.

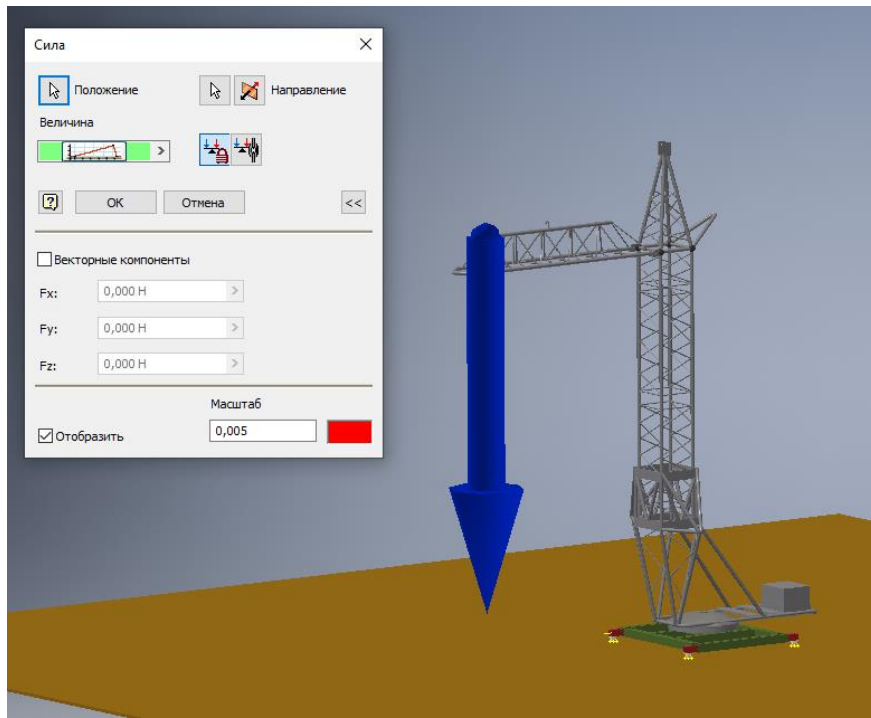


Рис. 2 Сила, яка діє на стрілу

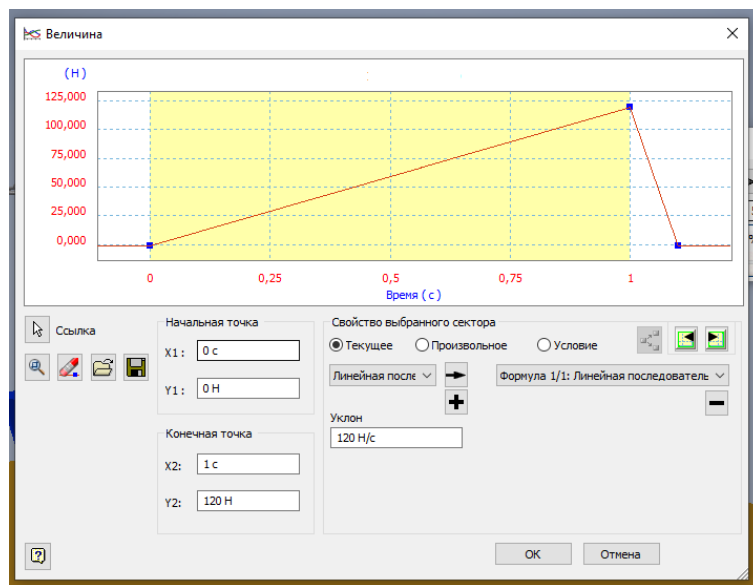


Рис. 3 Графік прикладання сили

Після прикладення навантаження від вантажу і запуску динамічного моделювання ми спостерігаємо як діє навантаження на опорне обладнання (рис 4).

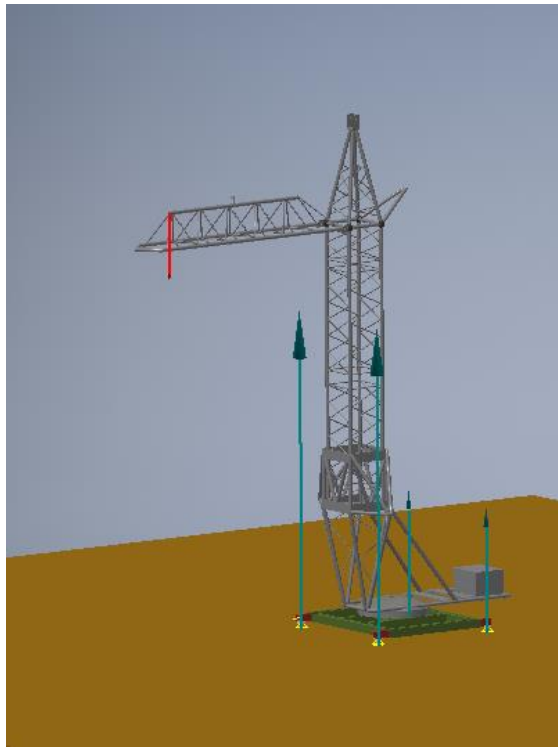


Рис. 4 Сили, які діють на модель крану

Autodesk Inventor дозволяє моделювати навантаження, які діють на опори моделі крану. На рисунках 5–8 зображені різні варіанти, при котрих відбувалось моделювання навантажень на ходове обладнання.

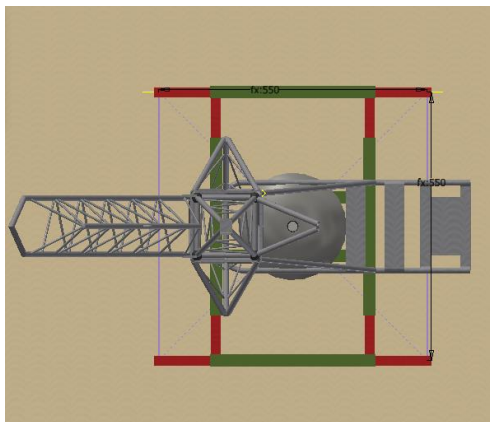


Рис. 5 Розрахунковий випадок, при котрому база і колія мають максимальні значення 550 мм (виліт мінімальний)

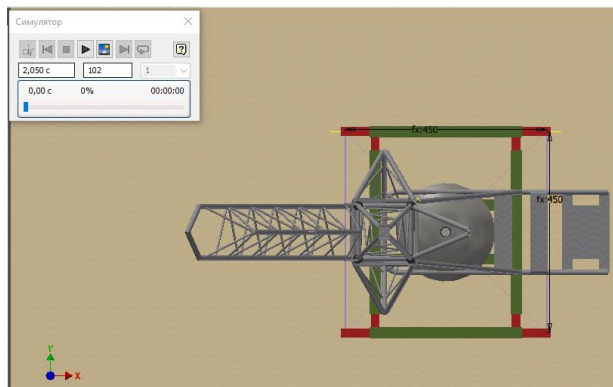


Рис. 6 – Розрахунковий випадок, при котрому база і колія мають мінімальні значення 450 мм (виліт мінімальний)

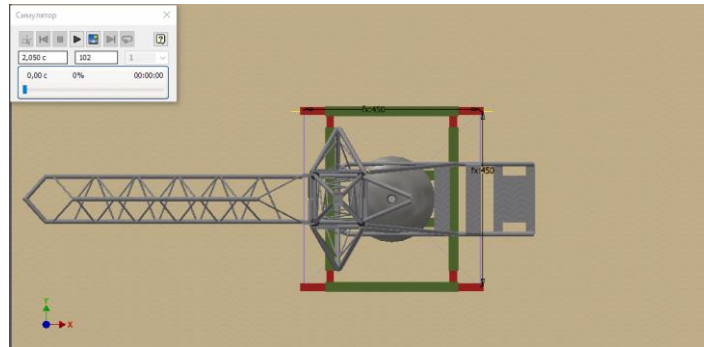


Рис. 7 Розрахунковий випадок, при котрому база і колія мають мінімальні значення 450 мм (виліт максимальний)

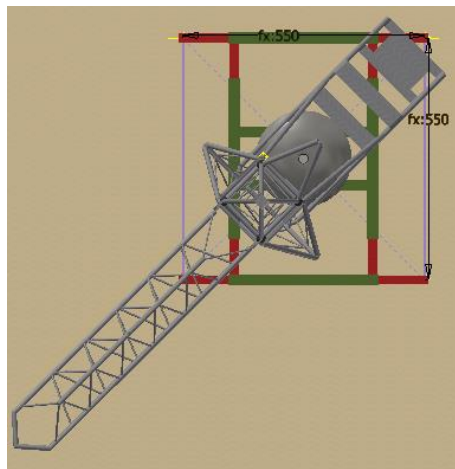


Рис. 8 Розрахунковий випадок, при котрому досліджувалося обертання крану з вантажем

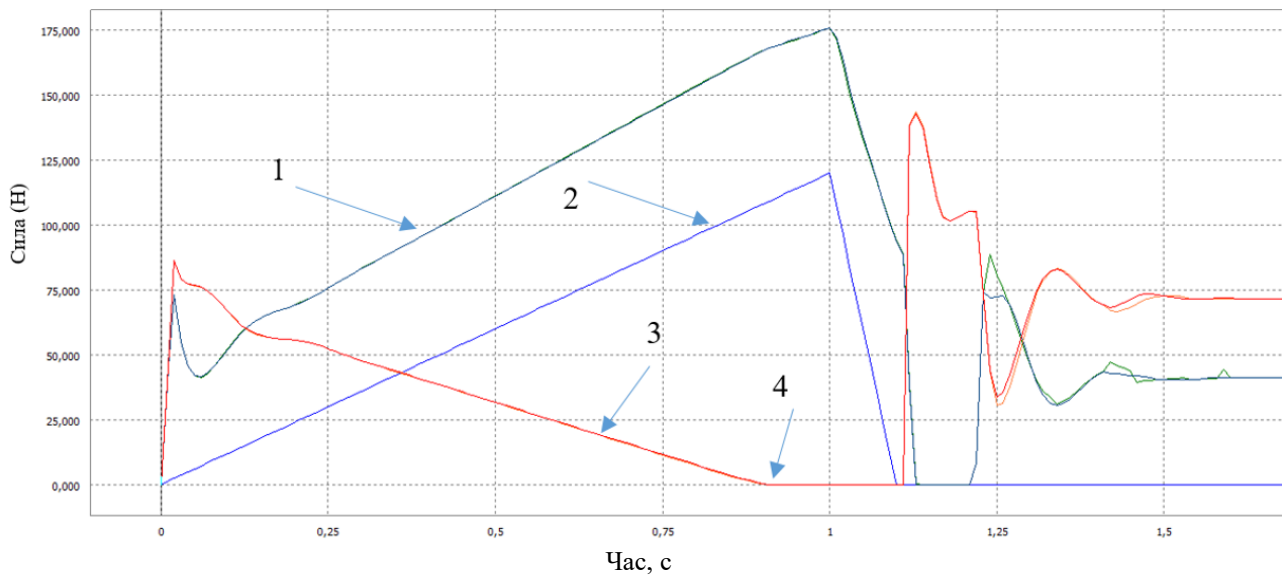
Комп'ютерне моделювання відбувалося відносно плану:

- 1) З різною базою та колією (450мм ,475мм,500мм ,525мм);
- 2) З різним вильотом стріли (0 град, 20град, 30град, 40 град);
- 3) З різним кутом обертання навколо осі обертання (0 град, 90 град, 180 град, 270 град).

На рисунках 9–10 наведені деякі результати моделювання

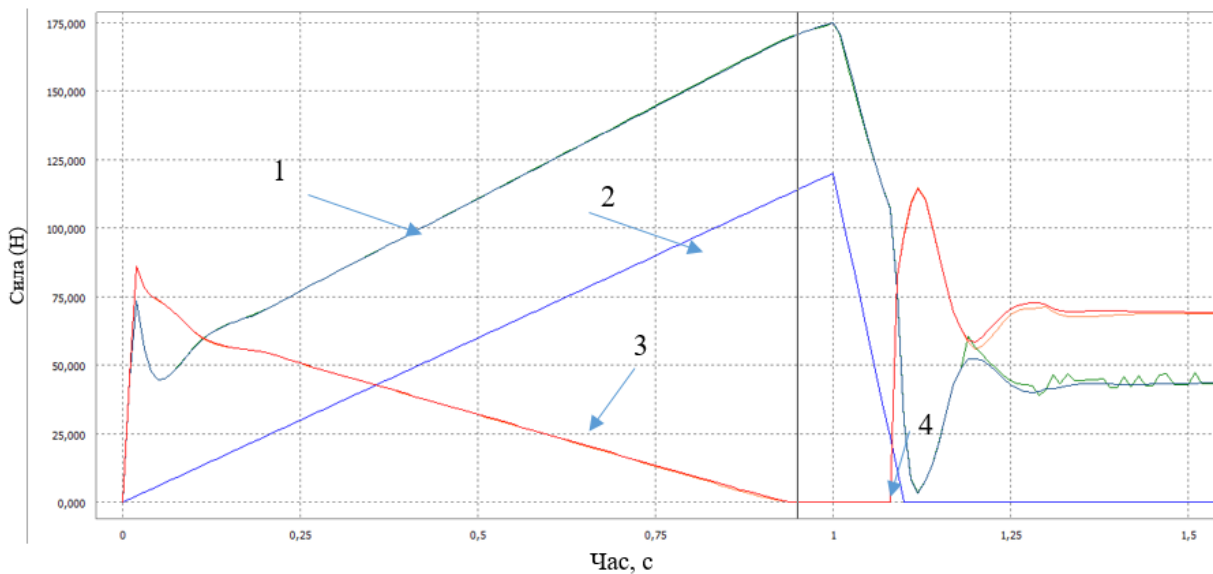
Рисунок 10: база – 450 мм, стріла – 0 град (горизонт), вісь обертання 0 град.
У цьому випадку сила, діюча на стрілу, знаходиться у межах від 0 до 120Н

В результаті – відрив опори відбувся при силі в 109Н.



1– навантаження передніх опор; 2–навантаження стріли;
 3–навантаження задніх опор; 4–момент відриву.
 Рис. 9 Графік навантаження моделі крану (колія 450мм)

Рисунок 10: база – 475, стріла – 0 град (горизонт), вісь обертання 0 град.
 У цьому випадку сила, діюча на стрілу, знаходиться у межах від 0 до 120Н
 В результаті – відрив опори відбувся при силі в 114Н.



1–навантаження передніх опор; 2– навантаження стріли;
 3–навантаження задніх опор; 4– момент відриву.
 Рис. 10 Графік навантаження моделі крану (колія 475мм)

Результат розрахунку навантаження на ходове обладнання при обертанні на 360 градусів наведено на рис. 11.

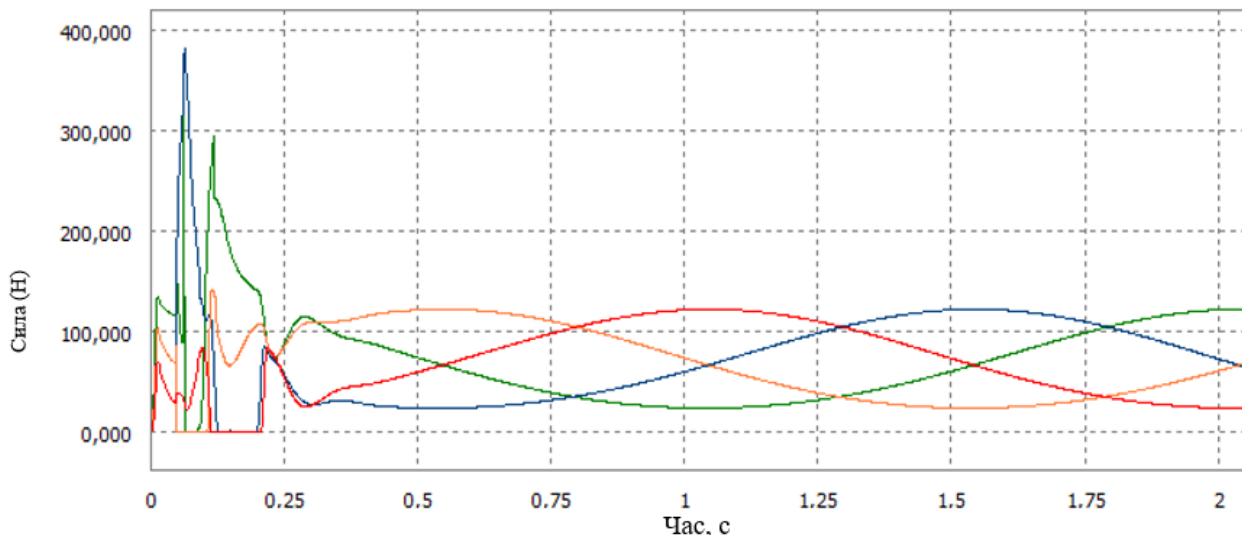


Рис. 11 Результати дослідження навантаження на ходове обладнання при обертанні на 360 градусів з вантажем 5 кг..

Висновок. Таким чином запропонована вдосконалена методика визначення стійкості баштового крану на основі визначення опорних реакцій на колесах за допомогою комп'ютерного моделювання. При цьому з'являється можливість розробити і застосувати систему автоматизованого моніторингу та систему автоматизованого контролю за стійкістю крану.

Л і т е р а т у р а

1. Башенные краны / Л.А. Невзоров [и др.].– М.: Машиностроение, 2010. – 292 с.
2. Динамический расчет зданий и сооружений / М.Ф. Барштейн [и др.].– М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
3. Синельщиков А.В. Совершенствование методов расчета устойчивости башенных кранов / А.В.Синельщиков, Б.Л. Булатов // Вестник АГТУ.– 2010. – № 2 (50). – С. 36-38.
4. Синельщиков А.В. Устойчивость башенных кранов при переменных эксплуатационных состояниях / А.В.Синельщиков, Б.Л. Булатов // Вестник АГТУ.– 2012. – № 2 (54). – С. 41-43.
5. Синельщиков А.В. Расчет устойчивости башенных кранов на основе определения реакций в опорах / А.В.Синельщиков, Б.Л. Булатов // Вестник АГТУ.– 2011. – № 2 (52). – С. 27-30.
6. Єрмакова С.О. Основні шляхи підвищення безпеки і надійності експлуатації стрілових кранів / С.О. Єрмакова, В.Г. Крупко // Вісник ХНАДУ.– 2014. –Вип. 65–66. – С. 189-192.
7. РД 22-166-86. Краны башенные строительные. Нормы расчета. – М.: Стройдормаш, 1987 - 61 с.

R e f e r e n c e s

1. Bashennyye kranyy / L.A. Nevzorov [i dr.].– M.: Mashinostroenie, 2010. – 292 s.
2. Dinamicheskij raschet zdaniy i sooruzhenij / M.F. Barshtejn [i dr.].– M.: Strojizdat, 1984. – 303 s.
3. Sinelshikov A.V. Sovershenstvovanie metodov rascheta ustojchivosti bashennyh kranov / A.V.Sinelshikov, B.L. Bulatov // Vestnik AGTU.– 2010. – № 2 (50). – S. 36-38.
4. Sinelshikov A.V. Ustojchivost bashennyh kranov pri peremennyh ekspluatacionnyh sostoyaniyah / A.V.Sinelshikov, B.L. Bulatov // Vestnik AGTU.– 2012. – № 2 (54). – S. 41-43.
5. Sinelshikov A.V. Raschet ustojchivosti bashennyh kranov na osnove opredeleniya reakcij v oporah / A.V.Sinelshikov, B.L. Bulatov // Vestnik AGTU.– 2011. – № 2 (52). – S. 27-30.
6. Yermakova S.O. Osnovni shlyahi pidvishennya bezpeki i nadijnosti ekspluatatsiyi strilovih kraniv / S.O. Yermakova, V.G. Krupko // Visnik HNADU.– 2014. –Vip. 65–66. – S. 189-192.
7. RD 22-166-86. Krany bashennyye stroitelnyye. Normy rascheta. – M.: Strojdomash, 1987 - 61 s.

Развитие и дальнейшее совершенствование отечественных башенных кранов в наше время невозможно без тщательного исследования нагрузок, действующих на кран, обоснования конструкций опор башенных кранов при различных условиях работы, без разработки прогрессивных методов расчета устойчивости, расчета нагрузок на опоры. Рассмотрены вопросы определения устойчивости башенных кранов во время эксплуатации с учетом влияния опорных реакций. Предложен метод расчета устойчивости крана с применением компьютерного моделирования. Исследование проводилось на модели башенного крана на примере крана КБ-401.

Ключевые слова: башенный кран, устойчивость, исследования реакция в опорах, модель, компьютерное моделирование, методика.

Fastened cranes are the most applicable among construction cranes, solve questions of mechanization of loading and unloading work on construction. The fall of the tower cranes occurs both in our country and abroad, even if all operating rules and safety requirements are observed.

The development and further improvement of domestic tower cranes in our time is impossible without a thorough study of the loads operating on the crane, justification of the constructions of tower crane supports under different working conditions, without developing advanced methods for calculating stability, calculating load on supports. The article addresses the questions of determining the stability of tower cranes during operation, taking into account the influence of reference reactions. Suggested method for calculating crane stability using computer simulation

An analysis of the scientific works in recent years has shown that the stability of the cranes is influenced by: the imperfect calculation methods, the state of influence of dynamic loads, the influence of loads on supporting elements, the action of wind loads. When considering the sustainability of the tower cranes in the works, the main ways of determining the stability coefficients according to different operating conditions are presented. The development of the computer model of the crane tower was based on a physical model using the example of KB-401 crane using Autodesk Inventor 2018.

The experiment simulated the load on the crane model on different geometric parameters of the navigation equipment. The resulting load distribution graphics allow the control of stability coefficients. Proposed improved method for determining the stability of a crane tower based on the determination of reference reactions on wheels by means of computer simulation. It is also possible to develop and apply an automated monitoring system and a system for automated control of the resistance of the crane.

Keywords: loader: tower crane, stability, studies of support reaction, model, computer simulation, methodology

О.І. Іваненко доцент кафедри «Будівельні та дорожні машини» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

О.В. Щербак доцент кафедри «Будівельні та дорожні машини» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Ю.Ю. Любімов аспірант кафедри «Будівельні та дорожні машини» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету