

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ БАШТОВОГО КРАНА З ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЮ СТІЛОВОЮ СИСТЕМОЮ

Вячеслав Ловейкін, Олександр Шевчук

Національний університет біоресурсів і природокористування,
03041, вул. Героїв Оборони, 11, Київ, Україна, +38(044)-528-87-34

THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF LUFFING OF ARTICULATED JIB TOWER CRANE

Vyacheslav Loveykin, Oleksandr Shevchuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 03041, Heroyiv Oborony st., 11, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. Представлено результати експериментальних досліджень зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою. Під час досліджень, що проводилися на фізичній моделі, визначено такі параметри: кут відхилення вантажного канату від вертикалі; переміщення та швидкості вантажного візка та канатного барабана приводу підйому стрілової системи; подовжене зусилля у відтяжці.

Ключові слова: кран, експеримент, динаміка, коливання.

АННОТАЦИЯ. Представлены результаты экспериментальных исследований изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой. В ходе исследований, которые проводились на физической модели, определены следующие параметры: угол отклонения грузового каната от вертикали; перемещения и скорости грузовой тележки и канатного барабана привода подъема стреловой системы; продольное усилие в оттяжке.

Ключевые слова: кран, эксперимент, динамика, колебания.

ABSTRACT. This paper deals with the problem of dynamic behavioural of articulated jib tower crane. In case of simultaneous operation two mechanisms. **Purpose.** The purpose is experimentally determine the kinematic and dynamic parameters of the main elements of luffing mechanisms of articulated jib tower crane during start-up and steady mode of motion. **Methodology/approach.** The studies have been conducted on the physical model. The experimental research of luffing the articulated jib of tower crane shown as charts of following parameters: an angle between vertical line and a cargo rope, movement and velocity of a trolley and an articulated jib drive drum; traction efforts. **Findings.** Analysis of luffing of articulated jib tower crane showed occurring fluctuations the payload during the steady mode of motion the articulated jib. **Research limitations/implications.** In order to reduce the dynamic loads and fluctuations of the pay load needs to control torque on the drive motors with the frequency-shift keyer during start-up and steady mode of motion. **Originality/value.** This paper analyses the reasons of appears the dynamic loads in mechanisms and framework of articulated jib tower crane which can be used for further researches and improving hoisting machines.

Key words: crane, experiment, dynamics, oscillations.

ВСТУП

У роботах [1,2] проведено аналіз руху стрілової системи баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою під час її руху [1], а також при сумісному русі стрілової системи та вантажного візка [2] і встановлені причини виникнення коливань вантажу під час пуску та усталеного руху. Крім того, досліджено вплив коливань вантажу на роботу механізмів підйому стрілової системи та переміщення вантажного візка.

Для оцінки реальних процесів під час зміни вильоту необхідно провести експериментальне дослідження динаміки руху шарнірно-зчленованої стрілової системи. Проте виконувати це на реальному крані

складно та небезпечно. Тому на основі теорії подібності технічних систем визначені основні параметри та побудована фізична модель баштового крана з шарнірно зчленованою стріловою системою (рис. 1), яка відображає процес зміни вильоту у певному масштабі [3].

Обладнання, необхідне для проведення експериментальних досліджень та його технічні характеристики, вибрані за даними роботи [4].

У даній роботі пропонується експериментально визначити кінематичні характеристики руху шарнірно-зчленованої стрілової системи, вантажного візка, вантажу та зусилля у відтяжці, а також проаналізувати

вплив коливань вантажу на роботу крана під час зміни вильоту.

У роботах вчених широко досліджено розгойдування вантажу, підвішеного на канаті при його переміщені [5...8]. Значна увага приділена негативному впливу розгойдування вантажу на загальне зниження ефективності різних типів кранів під час проведення перевантажувальних робіт. Зокрема, описується вплив розгойдування на збільшення тривалості робочого циклу крана та зниження його маневреності, погіршення умов праці кранівника та обслуговуючого персоналу, а також суттєве збільшення динамічних навантажень на ланки, механізми та кран у цілому [9].

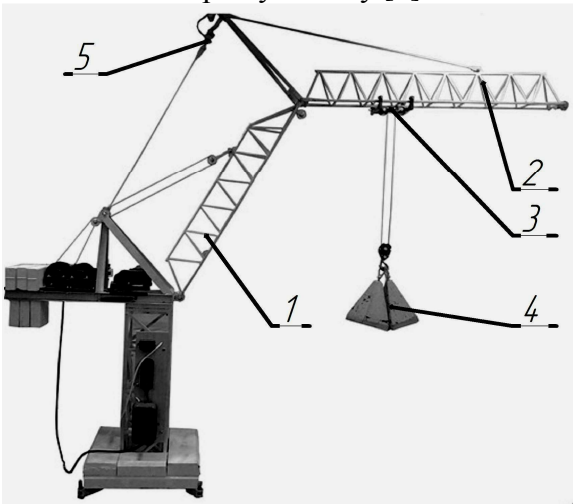


Рис. 1. Фізична модель шарнірно-зчленованої стрілової системи: 1 – основна секція; 2 – допоміжна секція; 3 – вантажний візок; 4 – вантаж; 5 – відтяжка
Fig. 1. Model of articulated jib of tower crane: 1 – main section; 2 – supporting section; 3 – trolley; 4 – load; 5 – tension cable

У роботі [10] описано методику проведення експериментальних досліджень руху шарнірно-зчленованої стрілової системи фізичної моделі порталного крана при зміні вильоту вантажу, а також вимірювально-реєструюче обладнання, що при цьому використовувалось.

У роботі [11] описана експериментальна установка крана-маніпулятора з гідроприводом та вимірювально-реєструюче обладнання для проведення досліджень з визначенням динамічних навантажень на її робочому обладнанні та представлено результати експериментальних досліджень.

При експериментальному дослідженні зміни вильоту шарнірно-зчленованої стрі-

лової системи важливе значення має характер зміни кінематичних та інерційних характеристик основних елементів конструкції. Крім того, необхідно дослідити вплив розгойдування вантажу на металоконструкцію стрілової системи та елементи приводних механізмів.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є експериментальне визначення динамічних та кінематичних параметрів основних елементів шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крана при сумісній роботі механізмів переміщення стрілової системи та переміщення вантажного візка.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Дослідження проведені на фізичній моделі, яка в певному масштабі відтворює динамічні процеси руху стрілової системи баштового крана Liebherr 140 hc-k. Для аналізу динаміки руху шарнірно-зчленованої стрілової системи вимірювались такі параметри: кут відхилення вантажу від вертикалі ν ; кутова координата обертання барабана механізму переміщення стрілової системи φ ; лінійна координата переміщення вантажного візка x_1 ; зусилля у відтяжці F .

Кількість експериментів визначено з врахуванням того, що факторами експерименту є початкове значення кута повороту основної секції стрілової системи α_0 , напрямку руху стрілової системи та візка, довжина вантажного канату l та маса вантажу m .

Таким чином, враховуються п'ять факторів експерименту, два з яких мають три значення і три – два, тобто мінімальна кількість експериментів визначається за формулою $3^2 \cdot 2^3 = 72$ [12].

Складено таблицю плану експериментів з параметрами для кожного експерименту, де знак «+» означає рух стрілової системи угору, а знак «-» – униз. У колонці «рух візка» літера **л** означає рух вантажного візка ліворуч, **п** – вправоруч (табл.).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ БАШТОВОГО КРАНА
З ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЮ СТІЛОВОЮ СИСТЕМОЮ

Таблиця. План експериментів
Table. Experiments table

№	a_0 , рад	l , м	m , кг	рух візка	№	a_0 , рад	l , м	m , кг	рух візка	№	a_0 , рад	l , м	m , кг	рух візка
1	0	1,0	14	л	25	$\pi/6+$	1,0	14	л	49	$\pi/3+$	1,0	14	л
2	0	1,0	14	п	26	$\pi/6+$	1,0	14	п	50	$\pi/3+$	1,0	14	п
3	0	1,0	27	л	27	$\pi/6+$	1,0	27	л	51	$\pi/3+$	1,0	27	л
4	0	1,0	27	п	28	$\pi/6+$	1,0	27	п	52	$\pi/3+$	1,0	27	п
5	0	1,7	14	л	29	$\pi/6+$	1,7	14	л	53	$\pi/3+$	1,7	14	л
6	0	1,7	14	п	30	$\pi/6+$	1,7	14	п	54	$\pi/3+$	1,7	14	п
7	0	1,7	27	л	31	$\pi/6+$	1,7	27	л	55	$\pi/3+$	1,7	27	л
8	0	1,7	27	п	32	$\pi/6+$	1,7	27	п	56	$\pi/3+$	1,7	27	п
9	0	2,4	14	л	33	$\pi/6+$	2,4	14	л	57	$\pi/3+$	2,4	14	л
10	0	2,4	14	п	34	$\pi/6+$	2,4	14	п	58	$\pi/3+$	2,4	14	п
11	0	2,4	27	л	35	$\pi/6+$	2,4	27	л	59	$\pi/3+$	2,4	27	л
12	0	2,4	27	п	36	$\pi/6+$	2,4	27	п	60	$\pi/3+$	2,4	27	п
13	$\pi/6-$	1,0	14	л	37	$\pi/3-$	1,0	14	л	61	$\pi/2-$	1,0	14	л
14	$\pi/6-$	1,0	14	п	38	$\pi/3-$	1,0	14	п	62	$\pi/2-$	1,0	14	п
15	$\pi/6-$	1,0	27	л	39	$\pi/3-$	1,0	27	л	63	$\pi/2-$	1,0	27	л
16	$\pi/6-$	1,0	27	п	40	$\pi/3-$	1,0	27	п	64	$\pi/2-$	1,0	27	п
17	$\pi/6-$	1,7	14	л	41	$\pi/3-$	1,7	14	л	65	$\pi/2-$	1,7	14	л
18	$\pi/6-$	1,7	14	п	42	$\pi/3-$	1,7	14	п	66	$\pi/2-$	1,7	14	п
19	$\pi/6-$	1,7	27	л	43	$\pi/3-$	1,7	27	л	67	$\pi/2-$	1,7	27	л
20	$\pi/6-$	1,7	27	п	44	$\pi/3-$	1,7	27	п	68	$\pi/2-$	1,7	27	п
21	$\pi/6-$	2,4	14	л	45	$\pi/3-$	2,4	14	л	69	$\pi/2-$	2,4	14	л
22	$\pi/6-$	2,4	14	п	46	$\pi/3-$	2,4	14	п	70	$\pi/2-$	2,4	14	п
23	$\pi/6-$	2,4	27	л	47	$\pi/3-$	2,4	27	л	71	$\pi/2-$	2,4	27	л
24	$\pi/6-$	2,4	27	п	48	$\pi/3-$	2,4	27	п	72	$\pi/2-$	2,4	27	п

Деякі з експериментів, що наведені у таблиці, неможливо виконати в лабораторних умовах. Тому експерименти за номерами 5-12, 17-24, 33-36 та 45-48 не проводилися через неможливість забезпечити потрібну довжину підвісу вантажу.

Встановлено, що найбільше зусилля у відтяжці виникає під час пуску в експерименті №3 (рис. 2).

Експеримент №3

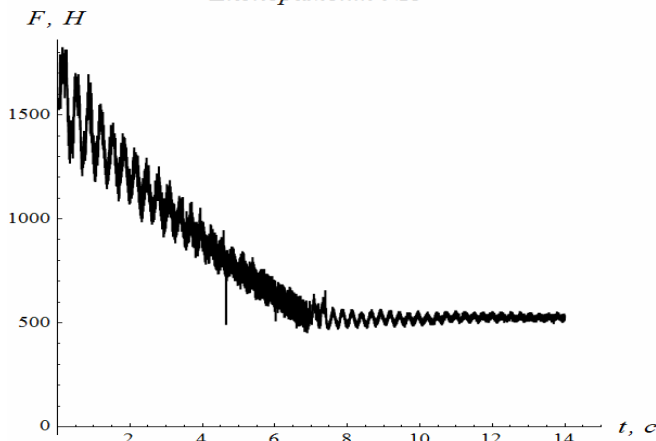


Рис. 2. Графік зміни зусилля у відтяжці

Fig. 2. Traction efforts

На початку пуску коливання зусилля відбуваються з великою амплітудою, яка з часом загасає. До сьомої секунди спостерігається зменшення зусилля у відтяжці, оскільки вантажний візок переміщується з крайнього дальнього положення в крайнє ближнє.

Найбільша амплітуда коливань вантажу при усталеному русі зафіксована в експерименті №51 (рис 3).

Експеримент №51

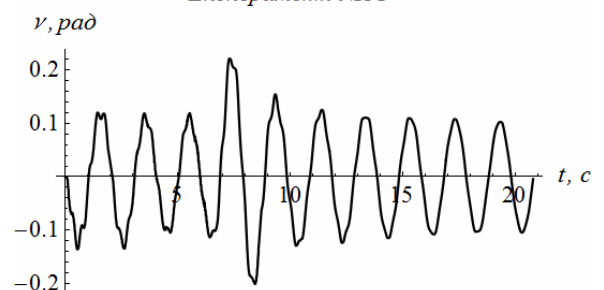


Рис. 3. Графік зміни кута відхилення вантажного канату від вертикалі

Рис. 3. Graph of load oscillation with respect to suspension point refers

Залишкові коливання вантажу після зупинки руху механізмів можуть значно перевищувати коливання під час руху (як в експерименті і №51), а можуть і суттєво зменшитись (як в експерименті №37 (рис.4)). Це залежить від того, в якій фазі коливань вантажу починається процес гальмування.

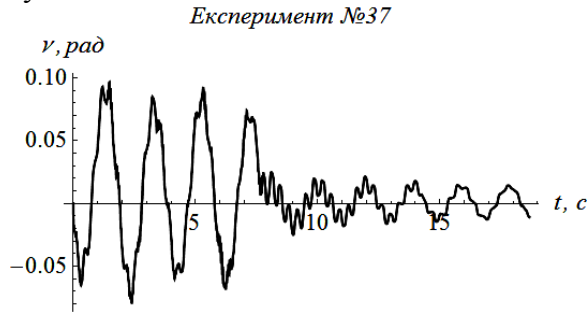


Рис. 4. Графік зміни кута відхилення вантажного канату від вертикалі
Fig. 4. Graph of load oscillation with respect to suspension point refers

На рис. 5 зображено переміщення та швидкості стрілової системи та вантажу в експерименті №51.

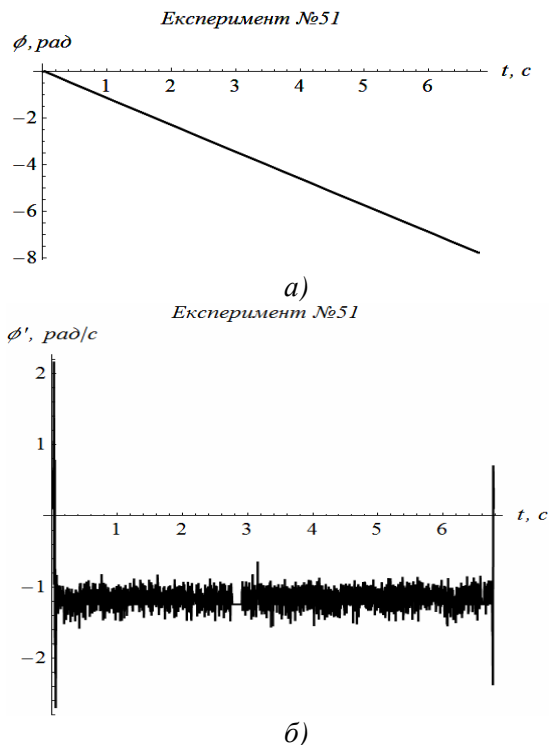


Рис. 5. Графік зміни положення (а) та швидкості (б) барабана приводу переміщення шарнірно-зчленованої стрілової системи

Fig. 5. Graphs which represent the movement (a), velocity (b), the driving drum of lifting the articulated jib

Розгін стрілової системи відбувається досить швидко (рис. 5). Переміщення і швидкість стрілової системи у період розгону наведені на рис. 6.

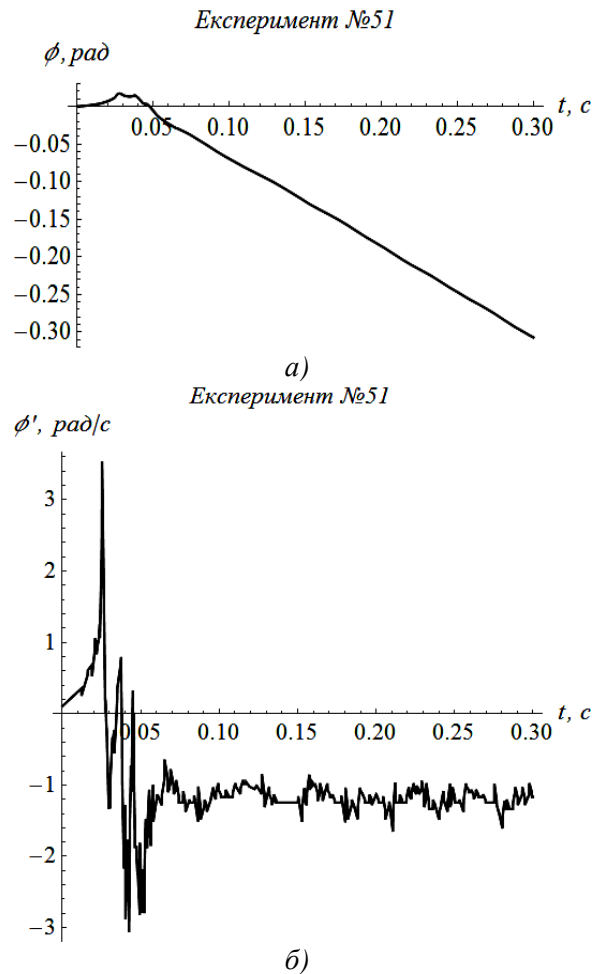


Рис. 6. Графік зміни положення (а) та швидкості (б) барабана приводу переміщення шарнірно-зчленованої стрілової системи під час пуску

Fig. 6. Graphs which represent the movement (a), velocity (b), the driving drum of lifting the articulated jib during start-up

Початкова швидкість має інший знак ніж усталена. Це пояснюється малим рушійним моментом двигуна і великим моментом опору на початку руху. Також перехід від початкової швидкості до усталеної супроводжується коливальним процесом.

Аналогічна ситуація виникає при роботі механізму переміщення вантажного візка. (рис 7,8).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ БАШТОВОГО КРАНА
З ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЮ СТІЛОВОЮ СИСТЕМОЮ

ВИСНОВКИ

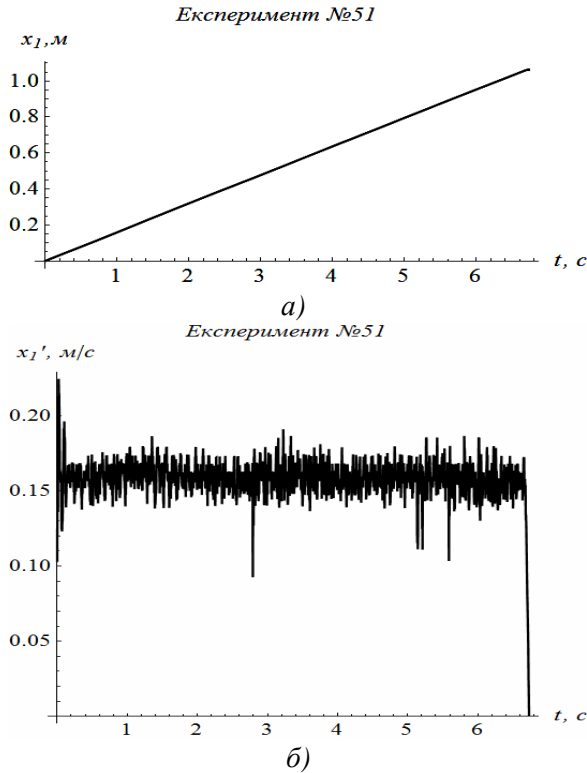


Рис. 7. Графік зміни положення (а) та швидкості (б) вантажного візка

Fig. 7. Graphs which represent the movement (а), velocity (б), the trolley

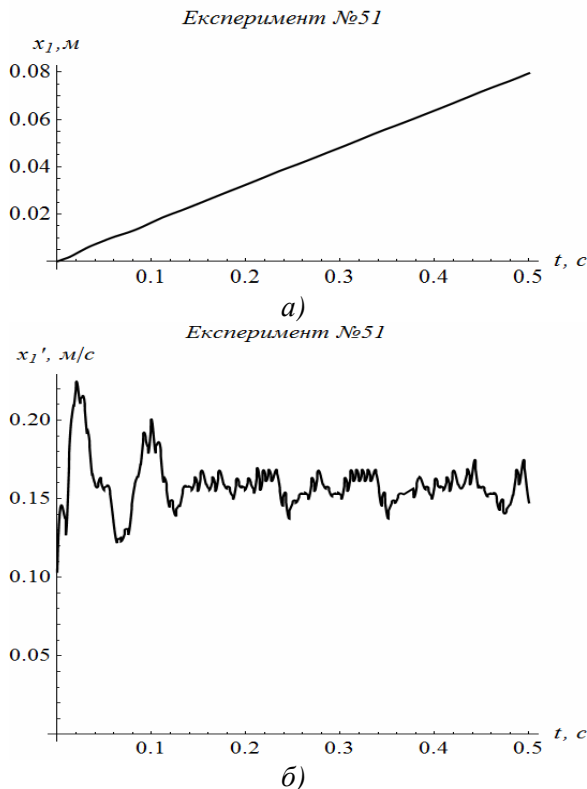


Рис. 8. Графік зміни положення (а) та швидкості (б) вантажного візка під час пуску

Fig. 8. Graphs which represent the movement (а), velocity (б), the trolley during start-up

Результати експериментальних досліджень зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою показали виникнення динамічних навантажень, що передаються на металоконструкцію крана, та коливань вантажу, які виникають під час пуску та тривають протягом усталеного режиму руху. Під час зупинки амплітуда залишкових коливань вантажу може збільшуватись або зменшуватись в залежності від того, в якій фазі коливань вантажу починається період гальмування. Окрім коливань вантажу відносно точки підвісу, виникають коливання вантажу відносно точки захвату, які за частотою майже на порядок вищі.

У процесі пуску приводних механізмів виникають коливання швидкості привідних елементів. За час усталеного руху візка спостерігається вплив коливань вантажу на його рух.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ловейкін В.С., Шевчук О.Г. Аналіз зміни шарнірно-зчленованої стрілової системи при русі стріли // Наукові доповіді НУБіП України – 2014. – №43.
2. Ловейкін В.С., Шевчук О.Г. Аналіз зміни вильоту баштового крана з шарнірно зчленованою стріловою системою // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини – 2013. – №82. – С. 20-27.
3. Ловейкін В.С., Шевчук О.Г. Побудова фізичної моделі шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крана // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини – 2014. – №83. – С. 34-41.
4. Ловейкін В.С., Шевчук О.Г. Експериментальне дослідження зміни вильоту баштового крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України – 2014 – №196. – С. 176-185.
5. Григоров О.В. Динамічні навантаження у вантажопідйомних машинах / О.В. Григоров, В.В. Офій, А.С. Рахманний // Навч.-метод. посібник. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – 69 с.
6. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов / Н.А. Лобов. – М: Машиностроение, 1987. – 160 с.

7. Будіков Л.Я. Багатопараметричний аналіз динаміки вантажопідійомних кранів мостового типу / Л.Я. Будніков // Монографія. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, вид 2-е, 2003. – 210 с.
8. Казак С. А. Динамика мостовых кранов / С. А. Казак. – М.: Машиностроение. – 1968. – 332 с.
9. Ловейкін В.С. Динамический анализ стреловых систем кранов с горизонтальным перемещением груза при изменении вылета: дис. кандидата тех наук: 05.05.05 / Ловейкин Вячеслав Сергеевич. – К., 1982. – 268 с.
10. Ловейкін В.С., Паламарчук Д.А., Іщук В.В. Експериментальне дослідження руху шарнірно-зчленованої стрілової системи крана при зміні вильоту вантажу // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – №77. – С. 38-43.
11. Ловейкін В.С., Міщук Д.О. Експериментальне дослідження динаміки руху штока гідроциліндра підйому шарнірно-зчленованої стрілової системи крана-маніпулятора з гідроприводом // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – №78. – С.20-27.
12. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери. – Л.: Судостроение, 1980. – 384с.
5. Grigorov O.V., 2006. Dinamichni navantazheniya u vantazhopidyomnykh mashinakh [Dynamic loading of lifting equipment]. Kharkiv, NTU «KHPİ» Publ., 69. – (in Ukrainian)
6. Lobov N.A., 1987. Dinamika gruzopodyemnykh kranov [Dynamics hoisting cranes]. Mashinostroyeniye Publ., 160. – (in Russian)
7. Budikov L.Y., 2003. Bahatoparmetrychnyy analiz dynamiky vantazhopidyomnykh kraniv mostovoho typu [Multiparameter analysis of the dynamics of cranes bridge type]. Lugansk, EUNU. Dal Publ., 210. – (in Ukrainian)
8. Kazak S. A., 1968. Dynamika mostovykh kranov [Dynamics of bridge cranes]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 332. – (in Russian)
9. Loveykin V.S. 1982. Dynamycheskyy analiz strelovykh system kranov s horyzontalnym peremeshchenyem hruza pry yzmenenyy vyleta: dys. kandydata tekhn nauk: 05.05.05 [Dynamic analysis jib crane systems with a horizontal displacement of the load when changing table: Dis. the candidate of the sciences: 05.05.05]. Kyiv, 268. – (in Russian)
10. Loveykin V.S., Palamarchuk D.A., Ishchuk V.V., 2011. Eksperymentalne doslidzhennya rukhu sharnirno-zchlenovanoi strilovoyi systemy kрана pry zmini vylyotu vantazhu. [Experimental study of motion hinge-articulated jib crane system when changing cargo flight]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, constructional, road and melioration machines], No.77, 38-43. – (in Ukrainian)
11. Loveykin V.S., Mishchuk D.O., 2011 Eksperymentalne doslidzhennya dynamiky rukhu shtoka hidrotsylindra pidyomu sharnirno-zchlenovanoi strilovoyi systemy kрана-manipulyatora z hidropryvodom [Experimental study of the dynamics of movement rod cylinder lifting hinge-jointed boom system mounted crane with hydraulic drive] Girnichi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 78, 20-27. – (in Ukrainian)
12. Monthomery D.K., 1980. Planirovaniye eksperimenta i analiz dannykh. Leningran, Sudostroyeniye Publ., 384. – (in Russian)

REFERENCES

1. Loveykin V.S., Shevchuk O.H., 2014. [Analysis of luffing articulated jib tower crane occurring by jib motion], Naukovi dopovidi NUBiP Ukraine [Scientific reports NUBiP Ukraine], Vol. 43. – (in Ukrainian)
2. Loveykin V.S., Shevchuk O.H., 2013. [Analysis of luffing of articulated jib tower crane]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, constructional, road and melioration machines], No.82, 20-27. – (in Ukrainian)
3. Loveykin V.S., Shevchuk O.H., 2014. [Construction the physical model of the articulated jib of tower crane]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, constructional, road and melioration machines], No.83, 34-41. – (in Ukrainian)
4. Loveykin V.S., Shevchuk O.H., 2014. Eksperymentalne doslidzhennya zminy vylyotu bashtovoho kрана z sharnirno-zchlenovanoyu strilovoyu systemoyu [Experimental study of changes in flight tower crane with a hinge-jointed jib system]. Naukovyy visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny [Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine], Vol. 196, 176-185. – (in Ukrainian)