

ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЇ МОСТОВОГО КРАНА ПРИ ОБРИВІ КАНАТУ ЗДВОЄНОГО ПОЛІСПАСТА З БАЛАНСИРОМ

М.І. Стукаленко, к.т.н., доцент,

Одеська державна академія будівництва та архітектури

О.М. Стукаленко,

alexstuk71@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3025-7013

Д.І. Василюк,

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Обґрунтована значущість та складність розв'язання проблеми запобігання аварій підйомних машин при обриві підйомного каната. Висвітлені відомі технічні вирішення та дослідження щодо її розв'язання. Розроблена математична модель аварійного опускання вантажу мостовим краном після обриву каната здвоєного поліспасти з балансиrom. Рівняння руху має розв'язані чисельним методом Рунге-Кутта для крана вантажопідйомністю 20 т. Визначені динамічні зусилля у поліспаствому підвісі та металокопструкції крана. Розглянуті випадки знаходження вантажу у верхньому та нижньому положеннях. Визначена маса вантажу, для якої є можливість утримання його після обриву одного з канатів на другому – цілому канаті.

Ключові слова: мостовий кран, обрив каната, здвоєний поліспаст з балансиrom, безпечний здвоєний поліспаст.

Вступ. Вантажопідйомні крани – одні із основних засобів механізації будівництва, експлуатації гідротехнічних споруд і самих різноманітних промислових технологічних процесів. Внаслідок специфіки конструкції і роботи крани віднесені до категорії машин підвищеної безпеки.

З метою забезпечення безпечної експлуатації кранів проводиться цілий комплекс заходів, у якому намітився окремий напрям, мета якого – запобігання аварії у разі обриву каната.

Сама по собі проблема запобігання аварій підйомних машин при обриві каната є доволі складною. Наприклад, навіть у ліфтах, підйомниках та інших машинах із напрямними, в яких уже довгий час застосовується широко відома система безпеки з уловлювачами – бувають аварії. Показовим прикладом цього є падіння кабіни ліфта у Міністерстві транспорту та зв'язку України [1].

Набагато складніша дана проблема стосовно вантажопідйомних кранів та інших вантажопідйомних машин без напрямних – з вільним підвісом вантажу.

Щодо підйомних машин з одинарними поліспастами запропоновані пристрої безпеки, призначені у разі обриву каната забезпечити за допомогою уловлювачів утримання вантажу на цілих вітках каната [2]. Стосовно підйомних машин із здвоєними поліспадами запропоновано застосувати резервування при паралельному з'єднанні елементів – два окремих канати і при обриві одного каната вантаж утримувати на другому канаті – безпечні здвоєні поліспасти. Зазначені пристрої безпеки узагальнено розділені на дві групи – з пристроями, що забезпечують зниження динамічних зусиль у силовому ланцюзі підйомної машини [3, 4], та без таких пристроїв [5]. До другої групи відносяться безпечні здвоєні поліспасти з балансиrom, дослідженню застосування яких у мостовому крані присвячена дана стаття.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Теоретичні дослідження щодо розв'язання проблеми запобігання аварій кранів при обриві каната почали проводити в 1969 р. в Одеському політехнічному інституті на кафедрі «Підйомно-транспортні машини» під керівництвом завідувача кафедри М. Ф. Глушка – М. А. Козлов, Б. С. Номерованій та М. М. Левченко [6-8]. Дослідження проводились за одномасовими динамічними моделями, які враховують масу вантажу, жорсткість поліспаство-

го підвісу після обриву каната та дільницю вільного руху балансира. Дослідження проводились з метою забезпечення утримання вантажу в мостовому крані при обриві каната здвоєного поліспасти з балансиром. Висновок таких досліджень – у разі обриву каната при вантажах номінальної вантажопідйомності – аварія неминуча.

З метою зниження динамічних зусиль при аварійному утриманні вантажу для забезпечення можливості утримання номінального вантажу запропоновано замість балансира застосувати зрівняльні пристрої з пружними амортизуючими елементами – пружинами стискання [8], та з гідравлічними і фрикційними демпферами [9]. Однак, як і раніше дослідження проводились за одномасовими динамічними моделями, що не відображують реальну динамічну систему мостового крана.

Вперше дослідження за дво-, три- та чотири масовими моделями, котрі відображують реальні динамічні системи мостових кранів при обриві каната безпечних здвоєних поліспасти почали проводити В. Ф. Семенюк, М. І. Стукаленко, О. М. Стукаленко [10-13].

За останній час дослідження М.А.Козлова [14, 15], як і раніше виконані за одномасовими динамічними моделями. А.С.Швачунов, Н.Ю.Дорохов, А.В.Періг, А.Н.Стадник виконували дослідження за чотиримасовими динамічними моделями, котрі відображають реальну динамічну систему мостового крана при обриві каната безпечного здвоєного поліспасти з гальмівним барабаном [16-18]. Зроблено висновок, що застосування такого барабана не виключає можливість руйнування металоконструкції, а забезпечує необхідне зниження динамічного зусилля лише у поліспастовому підвісі. У зв'язку з цим заслуговує уваги, що у раніше виконаних дослідженнях М.І.Стукаленка, О.М.Стукаленка, В.Ф.Семенюка [13] застосування у зрівняльному фрикційному пристрої безпечного здвоєного поліспасти демпфера з двоступінчастим опором забезпечує можливість утримання номінального вантажу при обриві каната.

Дослідження мостового крана при обриві здвоєного поліспасти з балансиром М.І.Стукаленко, О.М.Стукаленко [19] виконали за тримасовою динамічною моделлю, котра відображує реальну досліджувану динамічну систему. Визначені максимальні динамічні зусилля у поліспастовому підвісі та металоконструкції для самого гіршого режиму динамічного навантаження крана – підйом вантажу з основи «з підхопленням».

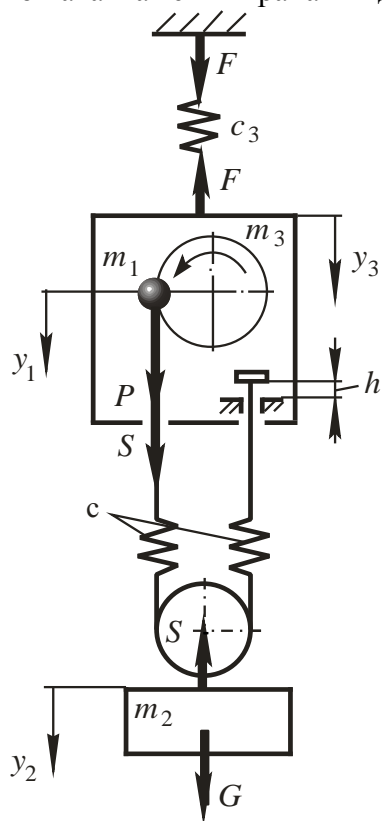


Рис. 1. Другий етап руху мас

Нерозв'язані проблеми. Дослідження, які були проведені, не визначали динамічні зусилля у випадку відмови каната у безпечному здвоєному поліспасти з балансиром під час опускання вантажу у режимі генераторного гальмування.

Мета та завдання. Метою даної роботи є визначення умов у мостовому крані, при яких можливе утримання вантажу у випадку обриву каната у здвоєному поліспасти з балансиром під час опускання у режимі генераторного гальмування. Для цього необхідно:

- скласти математичну модель мостового крана у вигляді диференціальних рівнянь руху мас;
- визначити розрахункові динамічні зусилля та коефіцієнти динамічності у силовому ланцюзі мостового крана при утриманні вантажу;
- порівняти отримані коефіцієнти динамічності і коефіцієнти запасу міцності елементів крана;
- підібрати вагу вантажу, при якій можливо утримання його після обриву одного з канатів здвоєного поліспасти з балансиром.

Матеріали та методика дослідження. Силовий ланцюг крана надається у вигляді динамічної моделі із зосередженими масами та пружними зв'язками (рис. 1), де m_1 – приведена до поступального руху вантажу маса обертючих частин приводу механізму підйому; m_2 – маса вантажу; m_3 – приведена маса ме-

талоконструкції крана; y_1, y_2, y_3 – переміщення мас m_1, m_2, m_3 ; h – дільниця вільного руху балансира; c – жорсткість поліспастового підвісу після обриву каната; c_3 – жорсткість метало-конструкції; G – вага вантажу; S – зусилля у поліспастовому підвісі; F – зусилля у метало-конструкції крана:

$$F = c_3 y_3; \quad (1)$$

P – зусилля приводу механізму підйому, оснащеного асинхронним електродвигуном, визначається за формулою [20]:

$$P = P_0 - \beta \dot{y}_1, \quad (2)$$

де P_0 – зусилля приводу при нульовій швидкості двигуна; β – коефіцієнт жорсткості механічної характеристики електродвигуна; \dot{y}_1 – швидкість маси m_1 .

Рух мас розділено на два етапи. Перший етап відповідає руху мас одразу після обриву каната. Другий етап відбувається після вибору слабину у цілому канаті вантажем, що вільно падає.

На першому етапі рух мас описується рівняннями:

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 &= -F \\ m_1 \ddot{y}_1 &= P; \\ m_2 \ddot{y}_2 &= G. \end{aligned} \quad (3)$$

З урахуванням (1) та (2) рівняння (3) приймають вигляд:

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 &= 0 \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta_1 \dot{y}_1 &= P_0; \\ m_2 \ddot{y}_2 &= G. \end{aligned}$$

Початкові умови $t_1 = 0, y_3 = G/c_3, \dot{y}_3 = 0, y_1 = 0, \dot{y}_1 = v_0, y_2 = 0, \dot{y}_2 = v_0$, де v_0 – швидкість опускання вантажу.

Умова переходу до другого етапу руху мас:
$$v_0 t + \frac{gt^2}{2} = h - \frac{G}{2c} + y_1 - \left(\frac{G}{c_3} - y_3\right).$$

На другому етапі рух мас описується системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 &= S - F; \\ m_1 \ddot{y}_1 &= P + S; \\ m_2 \ddot{y}_2 &= G - S. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Зусилля у поліспастовому підвісі:

$$S = c(y_2 - y_3 - y_1). \quad (5)$$

Система рівнянь (4) з урахуванням (1), (2) та (5) приймає вигляд:

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_2 - y_3 - y_1) &= 0; \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta \dot{y}_1 - c(y_2 - y_3 - y_1) &= P_0; \\ m_2 \ddot{y}_2 + c(y_2 - y_3 - y_1) &= G. \end{aligned} \right\}$$

Початкові умови для другого етапу:

$$\begin{aligned} t_2 = 0, \quad y_3 &= (y_3)_1, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_1 \\ y_1 &= 0, \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_1, \\ y_2 &= (y_2)_1, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_1, \end{aligned}$$

де $(y_3)_1$ – переміщення маси m_3 в кінці першого етапу руху; $(\dot{y}_3)_1, (\dot{y}_1)_1, (\dot{y}_2)_1$ – швидкості мас m_3, m_1 та m_2 в кінці першого етапу руху.

Результати досліджень. Результати розв’язання для випадку відмови каната при максимальній довжині поліспастового підвісу (рис.2).

Графіки розбиті на три дільниці. Перша дільниця Т1 – стан системи до обриву каната. Навантаження на метало-конструкцію та поліспастовий підвіс дорівнює номінальній вазі ван-

тажу – 200 кН. Дільниця T2 відповідає першому етапу руху мас після обриву каната до вибору слабину цілого – другого каната. Дільниця T3 відповідає руху мас після прикладення зусилля від вантажу, який вільно падає, до поліспастового підвісу.

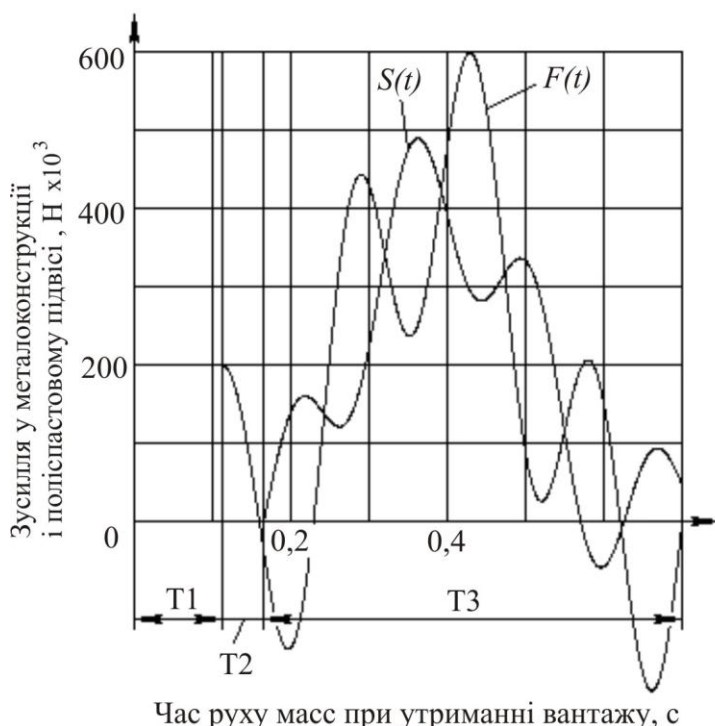


Рис. 2. До і після відмови каната

Максимальне зусилля $S = 431$ кН, коефіцієнт динамічності $k_S = 2,15$. Максимальне $F = 534$ кН, коефіцієнт динамічності $k_F = 2,67$. У досліджуваній конструкції крана коефіцієнт запасу міцності каната 5. Отже для нового неспрацьованого цілого каната коефіцієнт запасу міцності після відмови другого складе 2,5. Коефіцієнт запасу міцності металоконструкції 1,4. Розрахунковий коефіцієнт динамічності зусилля металоконструкції перевищує запас її міцності, що не виключає можливість аварії крана.

Відмова каната може відбутися на різних висотах знаходження вантажу. В залежності від зазначених висот буде змінюватись жорсткість поліспастового підвісу. Це приводить до різних значень максимальних зусиль в елементах крана. Розрахункові максимальні зусилля та коефіцієнти динамічності при максимальній та мінімальній довжинах поліспастового підвісу у випадку опускання номінального вантажу (табл. 1), у випадку опускання вантажу вагою 8 т – (табл. 2).

Таблиця 1 – Зусилля та коефіцієнти динамічності для випадку опускання вантажу 20 т

Довжина поліспастового підвісу	Навантажувемі елементи	Максимальні зусилля, Н	Коефіцієнти динамічності
Максимальна	Металоконструкція	534,04	2,67
	Поліспастовий підвіс	431,00	2,15
Мінімальна	Металоконструкція	505,67	2,52
	Поліспастовий підвіс	801,20	4,01

Таблиця 2 – Зусилля та коефіцієнти динамічності для випадку опускання вантажу 8 т

Довжина поліспастового підвісу	Навантажувемі елементи	Максимальні зусилля, Н	Коефіцієнти динамічності
Максимальна	Металоконструкція	274,9	1,38
	Поліспастовий підвіс	215,5	1,07
Мінімальна	Металоконструкція	243,57	1,22
	Поліспастовий підвіс	388,8	1,94

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Коефіцієнт динамічності зусиль у силовому ланцюзі даного мостового крана після обриву каната здвоєного поліспаста з балансіром при опусканні номінального вантажу перевищують існуючі запаси міцності металоконструкції і канатів, що не виключає можливість їх руйнування та аварії крана.

Для даного крана вага, при якій коефіцієнти динамічності зусиль у металоконструкції і поліспастовому підвісі не перевищують запасів міцності металоконструкції і канатів – 8 т.

Завдання подальших досліджень – визначення:

- найбільш несприятливого випадку динамічного навантаження мостового крана при обриві каната здвоєного поліспасти з балансиrom та ваги вантажу, при якій при цьому можливе надійне його утримання;
- видів опорів демпферів зрівняльних фрикційних та гідравлічних пристроїв, які забезпечили б можливість утримання номінального вантажу при обриві каната безпечного здвоєного поліспасти у зазначеному випадку навантаження крана.

Література

1. Стукаленко М.И. Применение безопасных канатных подъемных систем в грузовых подъемниках с направляющими / М.И.Стукаленко // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 2. – С. 43-46.
2. А.с. 1677008 СССР, МКИ В 66 С 15/02. Предохранительное устройство полиспасти / М.И.Стукаленко, А.Ю.Бабичев, И.С.Болобан (СССР) – № 4458863/11; заявл. 12.07.88; опубл. 15.09.91, Бюл. № 34.
3. Патент 33449 Україна, МПК В 66 D 3/04, В 66 D 15/02. Безпечний здвоєний поліспаст / Стукаленко М.І., Стукаленко О.М., Семенюк В.Ф., Хвищук О.С.; заявник і власник патенту Одес. держ. політехн. ун-т. № 99021042; заявл. 23.02.99; опубл. 15.01.01, Бюл. № 1.
4. Патент 90600 Україна, МПК В 66 D 3/00, В 66 С 15/00. Безпечний здвоєний поліспаст / Стукаленко М.І., Стукаленко О.М., Стукаленко В.М.; заявник і власник патенту Одес. держ. акад. будівн. та архітект. № 200813853; заявл. 02.12.08; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.
5. А.с. 874594 СССР, МКИ В 66 D 3/04. Безопасный канатный полиспаст / Ф.Х. Баранов, А.С. Бакшинов, П.М. Холодилин (СССР). – № 2828636/29-11; заявл. 05.09.79; опубл. 23.10.81, Бюл. № 39.
6. Козлов М. А. Исследование и разработка безопасных полиспастных систем грузоподъемных машин: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.05 / Козлов Михаил Анатольевич. Одесский политехнический институт. – Одесса, 1971. – 17 с.
7. Номерованный Б.С. Распределение усилий в ветвях каната безопасного канатного полиспасти при обрыве одной из них / Б.С. Номерованный, М.А. Козлов // Стальные канаты. Сб. науч. тр. – Киев: Техніка, 1971. – Вып. 8. – С. 217-219.
8. Козлов М.А. Современное состояние проблемы предотвращения падения груза при обрыве каната в полиспастных системах / М.А. Козлов, М.Н. Левченко // Третья молодежная научн.-техн. конф (доклады): ВНИИПТМАШ. – М., 1973. – С. 17-36.
9. Козлов М.А. Сдвоенные полиспасти и расчет их основных параметров / М.А. Козлов, М.Н. Левченко, М.И. Стукаленко // Безопасность труда в промышленности. – 1983. – № 11. – С. 35-39.
10. Семенюк В.Ф. Математическая модель безопасного сдвоенного полиспасти с уравнительным фрикционным устройством / В.Ф. Семенюк, М.И. Стукаленко, А.М. Стукаленко // Тр. ученых Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1998. – Вып. 1. – С. 89-92.
11. Стукаленко М.И. Влияние направления движения груза на процесс его удержания безопасным сдвоенным полиспасти с уравнительным фрикционным устройством / М.И. Стукаленко, А.М. Стукаленко, А.С. Хвищук // Стальные канаты. – Сб. научн. тр. Международной ассоциации исслед. стальных канатов. – Одесса, 1999. – Вып. 1. – С. 159-164.
12. Семенюк В.Ф. Нагрузки мостового крана, оснащенного безопасным сдвоенным полиспасти с уравнительным фрикционным устройством / В.Ф. Семенюк, М.И. Стукаленко, А.М. Стукаленко // Тр. ученых Одес. политехн. ун-та. Одесса, 1999. – Вып. 1. – С. 44-47.
13. Создание безопасных сдвоенных полиспасти с уравнительными фрикционными устройствами / [М.И.Стукаленко, А.М.Стукаленко, В.Ф.Семенюк и др.] // Подъемные сооружения и специальная техника. – 2001. – № 2. – С. 9-11.
14. Козлов. М.А. Полиспастные системы. Перспективы развития и применения в технике и строительстве / М.А. Козлов. – Одесса: ОГАСА, 2001. – 88 с.

15. Козлов М.А. Теория и практика проектирования устройств, предотвращающих аварии грузоподъемных кранов при обрыве канатов / М.А. Козлов, А.Н. Вудвуд, В.Г. Химченко // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – № 1. – С. 29-30.

16. Швачунов А.С. Проектирования устройств, предотвращающих аварии грузоподъемных кранов при обрыве каната / А.С. Швачунов, Н.Ю. Дорохов // УПА. Машинобудування: зб. наук. пр. – 2013. – № 11. – С. 76-81.

17. Швачунов А. С. Исследование поведения груза после обрыва одной из ветвей каната крана мостового типа для ДАУ-системы / А.С. Швачунов, Н.Ю. Дорохов, А.В. Периг, А.Н. Стадник // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2014. – № 2. – С. 114-117.

18. Швачунов А.С. Моделирование поведения груза после обрыва одной из ветвей каната крана мостового типа / А.С. Швачунов, Н.Ю. Дорохов, А.В. Периг, А.Н. Стадник // Вестн. ХНАДУ. – 2014. – Вып. 65/66. – С. 185-188.

19. Стукаленко М.И. Математическая модель подъема груза мостовым краном с основания «с подхватом» при стопорном торможении механизма подъема после обрыва каната / М.И. Стукаленко, А.М. Стукаленко. – Вісник Одес. держ. акад. будівн. та архітект. – Одеса, 2010. – Вип. 38. – С. 594–598.

20. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов / Н.А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.

References

- [1] M.I. Stukalenko, "Primenenie bezopasnykh kanatnykh pod'emnykh sistem v gruzovykh pod'emnikakh s napravlyayuschimi", *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no 2, pp. 43 – 46, 2010.
- [2] M.I. Stukalenko, A.Yu. Babichev, I.S. Boloban, "Predokhranitelnoe ustroystvo polisfasta", A.s. 1677008 SSSR, MKI V 66 S 15/02, no 4458863/11; zayavl. 12.07.88; opubl. 15.09.91, Byul. no 34.
- [3] M.I. Stukalenko, O.M. Stukalenko, V.F. Semenyuk, O.S.Hvishchuk, "Bezpechniy zdvoeniy polisfast", *Patent 33449 UkraYina*, MPK V 66 D 3/04, V 66 D 15/02, no 99021042; zayavl. 23.02.99; opubl. 15.01.01, Byul. no 1.
- [4] M.I. Stukalenko, O.M. Stukalenko, V.M. Stukalenko, "Bezpechniy zdvoeniy polisfast", *Patent 90600 UkraYina*, MPK V 66 D 3/00, V 66 S 15/00, no 200813853; zayavl. 02.12.08; opubl. 11.05.10, Byul. no 9.
- [5] F.H. Baranov, A.S. Bakshinov, P.M. Holodilin, "Bezopasnyiy kanatnyiy polisfast", A.s. 874594 SSSR, MKI V 66 D 3/04, no 2828636/29-11; zayavl. 05.09.79; opubl. 23.10.81, Byul. no 39.
- [6] M.A. Kozlov, "Issledovanie i razrabotka bezopasnykh polisfastnykh sistem gruzopod'emnykh mashin", dis. Cand. Tech. Sciences., Odessa Polytechnic Institute, Odessa, 1971.
- [7] B.S. Nomerovanyinyiy, M.A. Kozlov, "Raspredelenie usilii v vetvyah kanata bezopasnogo kanatnogo polisfasta pri obryive odnoy iz nih", *Stalnyie kanatyi, Scientific bull.*, Kiev, Tehnika, vol. 8, pp. 217-219, 1971.
- [8] M.A. Kozlov, M.N. Levchenko, "Sovremennoe sostoyanie problemyi predotvrascheniya padeniya gruzha pri obryive kanata v polisfastnykh sistemah", *Adstracts III Conf.*, VNIPTMASH, Moscow, pp. 17-36, 1973.
- [9] M.A. Kozlov, M.N. Levchenko, M.I. Stukalenko, "Sdvoennyye polisfasty i raschet ih osnovnykh parametrov", *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no 11, pp. 35 – 39, 1983.
- [10] V.F. Semenyuk, M.I. Stukalenko, A.M. Stukalenko, "Matematicheskaya model bezopasnogo sdvoennogo polisfasta s uravnitelnyim friktsionnyim ustroystvom", *Scientific bull. Odessa polytechnic university*, Odessa, vol. 1, pp. 89 – 92, 1998.
- [11] M.I. Stukalenko, A.M. Stukalenko, A.S. Hvishchuk, "Vliyanie napravleniya dvizheniya gruzha na protsess ego uderzhaniya bezopasnyim sdvoennym polisfastom s uravnitelnyim friktsionnyim ustroystvom", *Stalnyie kanatyi, Scientific bull. Int. Ass. Of Steel Rope Researchers*, Odessa, vol. 1, pp. 159 – 164, 1999.
- [12] V.F. Semenyuk, M.I. Stukalenko, A.M. Stukalenko, "Nagruzki mostovogo kрана, osnaschenogo bezopasnyim sdvoennym polisfastom u uravnitelnyim friktsionnyim ustroystvom", *Scien-*

- tific bull. Odessa polytechnic university*, Odessa, vol. 1, pp. 44 – 47, 1999.
- [13] M.I. Stukalenko, A.M. Stukalenko, V.F. Semenyuk, "Sozdanie bezopasnyih sdvoennyih polispastov s uravnitelnymi friktsionnymi ustroystvami", *Pod'emnyie sooruzheniya i spetsialnaya tehnika*, Odessa, no 2, pp. 9 – 11, 2001.
- [14] M.A. Kozlov, *Polispastnyie sistemy. Perspektivy razvitiya i primeneniya v tehnike i stroitelstve*. Odessa: OGASA, 2001.
- [15] M.A. Kozlov, A.N. Vudvud, V.G. Himchenko, "Teoriya i praktika proektirovaniya ustroystv, predotvraschayuschih avarii gruzopod'emnyih kranov pri obryive kanatov", *Pod'emnyie sooruzheniya. Spetsialnaya tehnika*, no 1, pp. 29 – 30, 2009.
- [16] A.S. Shvachunov, N.Yu. Dorohov, "Proektirovaniya ustroystv, predotvraschayuschih avarii gruzopod'emnyih kranov pri obryive kanata", *Mashinobuduvannya, Scientific bull.*, no 11, pp. 76 – 81, 2013.
- [17] A.S. Shvachunov, N.Yu. Dorohov, A.V. Perig, A.N. Stadnik, "Issledovanie povedeniya gruza posle obryiva odnoy iz vetvey kanata kрана mostovogo tipa dlya DAU-sistemy", *Visnyk DDMA*, no 2, pp. 114 – 117, 2014.
- [18] A.S. Shvachunov, N.Yu. Dorohov, A.V. Perig, A.N. Stadnik, "Modelirovanie povedeniya gruzа posle obryiva odnoy iz vetvey kanata kрана mostovogo tipa", *Visnyk HNADU*, vol. 65/66, pp. 185 – 188, 2014.
- [19] M.I. Stukalenko, A.M. Stukalenko, "Matematicheskaya model pod'ema gruzа mostovym kranom s osnovaniya «s podhvatom» pri stopornom tormozhenii mehanizma pod'ema posle obryive kanata", *Visnyk ODABA*, Odesa, vol. 38, pp. 594 – 598, 2010.
- [20] N.A. Lobov, *Dinamika gruzopod'emnyih kranov*. Moscow: Mashinostroenie, 1987.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИИ МОСТОВОГО КРАНА ПРИ ОБРЫВЕ КАНАТА СДВОЕННОГО ПОЛИСПАСТА С БАЛАНСИРОМ

М.И. Стукаленко, к.т.н., доцент,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

А.М. Стукаленко,

alexstuk71@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3025-7013,

Д.И. Василец,

Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. Выполнен анализ известных исследований динамических процессов, происходящих в грузоподъемных машинах при работе безопасных сдвоенных полиспастов.

Безопасные сдвоенные полиспасты предназначены для удержания груза в случае обрыва каната. Принцип их работы базируется на резервировании в системе при параллельном соединении элементов. Используется два каната. При отказе одного из канатов груз удерживается на втором. Безопасные сдвоенные полиспасты укрупненно делятся на две группы: с уравнительными устройствами, обеспечивающими снижение динамических усилий, возникающих при удержании груза после обрыва каната, и без таких устройств. Из известных конструкций к первой группе относятся безопасные сдвоенные полиспасты с уравнительными гидравлическими и фрикционными устройствами, с амортизирующими элементами в силовой цепи. Ко второй группе относится безопасный сдвоенный полиспаст с уравнительным балансиром. Последний вариант можно применять в кранах, находящихся в эксплуатации, с минимальными изменениями их конструкции.

Разработана динамическая модель мостового крана, оснащенного безопасным сдвоенным полиспастом с балансиром, в виде сосредоточенных масс и упругих связей. На основе данной модели разработана математическая модель удержания груза после обрыва каната при опускании в режиме генераторного торможения. Движение масс разделено на три характерных этапа: установившееся опускание груза, движение масс после обрыва каната и дальнейшее опускание груза после приложения нагрузки к полиспастному подвесу и металло-

конструкции. Полученные дифференциальные уравнения движения масс решены методом Рунге-Кутты для крана грузоподъемностью 20 т. Определены расчетные усилия в полиспастном подвесе и металлоконструкции для номинального груза.

Результаты решения показывают, что расчетные усилия достигают величин, при которых коэффициенты динамичности в указанных элементах превышают соответствующие запасы прочности.

Определена допускаемая масса груза, который можно удержать после обрыва каната. Для данной конструкции крана эта масса составляет 8 т.

В дальнейших исследованиях следует определить наихудший случай нагружения крана после обрыва каната сдвоенного полиспаста с балансиром.

Ключевые слова: мостовой кран, обрыв каната, сдвоенный полиспаст с балансиром, безопасный сдвоенный полиспаст.

PREVENTION OF THE BRIDGE CRANE ACCIDENT AT THE CUT-OFF OF DOUBLE PULLEY WITH BALANCE

M.I. Stukalenko, PhD., Assistant Professor,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

O.M. Stukalenko,
alexstuk71@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3025-7013,

D.I. Vasylets,
National university «Odesa marine academy»

Abstract. The analysis of the known studies of dynamic processes occurring in the lifting machines during the operation of safe double tackles was carried out.

Secure double tackles are designed to hold the load in case of a rope break. The principle of their work is based on redundancy in the system with parallel connection of elements. Two ropes are used. If one of the ropes fails, the load is held on the second one. Safety double tackles are enlarged divided into two groups: with equalizing devices that reduce the dynamic forces that occur when the load is held after a rope is broken, and without such devices.

Of the known structures, the first group includes safe dual tackles with equalizing hydraulic and friction devices, with shock-absorbing elements in the power circuit. The second group includes a safe double tackle with equalizing balance. The latter option can be used in cranes in operation, with minimal changes in their design.

A dynamic model of a bridge crane, equipped with a safe double tackle with a balance weight, in the form of concentrated masses and elastic connections, has been developed. Based on this model, a mathematical model has been developed to hold the load after a rope break when lowering in the mode of generator braking. The movement of the masses is divided into three characteristic stages: steady-state lowering of the load, movement of the masses after the break of the rope, and further lowering of the load after application of the load to the tackle suspension and metal structures. The obtained differential equations of mass motion are solved by the Runge-Kutta method for a crane with a lifting capacity of 20 tons. The calculated forces in the tackle suspension and metal structures for the nominal load are determined.

The results of the solution show that the calculated efforts reach values at which the dynamic factors in these elements exceed the corresponding safety factors.

The admitted mass of the cargo, which can be kept after a rope break, has been determined. For this crane design, this mass is 8 tons.

In further studies, it is necessary to determine the worst case of loading of the crane after the break of the rope of a double pulley with a balance bar.

Keywords: overhead crane, rope breakage, safe double tackle with equalizing balance, safe double tackle.