

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ”

Стукаленко Олександр Михайлович



УДК 629.5.065(043)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СУДНОВИХ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ ПРИСТРОЇВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті “Одеська морська академія” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент,
Козьмініх Микола Анатолійович,
Національний університет “Одеська морська академія”, завідувач кафедри суднових допоміжних установок і холодильної техніки.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
Богом’я Володимир Іванович,
Державний університет інфраструктури та технологій, професор кафедри технічних систем та процесів управління в судноводінні;

доктор технічних наук, професор,
Вичужанін Володимир Вікторович,
Державний університет “Одеська політехніка”, завідувач кафедри інформаційних технологій.

Захист відбудеться 22.04.2021 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 у Національному університеті “Одеська морська академія” за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету “Одеська морська академія” за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп.2, та за електронною адресою: <http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий 19.03.2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



В. В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Невід'ємною складовою експлуатації річкового та морського транспорту є використання обладнання та засобів забезпечення транспортних і навантажувально-розвантажувальних робіт – портових перевантажувальних комплексів та суднових вантажопідйомних пристроїв (СВПП). Судно, яке обладнане СВПП, спроможне завантажуватися та розвантажуватися у необладнаних кранами портах.

Однією з загроз, яка виникає при технічній експлуатації СВПП, є псування вантажу після обриву троса при проведенні навантажувально-розвантажувальних робіт та ремонтно-монтажних робіт у машинному відділенні крупнотонажних суден. Наслідками таких аварій є не тільки матеріальні втрати, які пов'язані з псуванням вантажу, простоем судна під час ліквідації наслідків, витратами на ремонт СВПП та елементів судна, пошкоджених вантажем, а й людські жертви та екологічні катастрофи.

Одним із шляхів розв'язання проблеми є підвищення надійності СВПП за рахунок використання часткового навантаженого резервування у зведеному поліспаєтовому підвісі – безпечному зведеному поліспаєті (БЗП). Рішення передбачає наявність двох окремих тросів, при обриві одного з них відбувається перерозподіл навантаження на другий, а динамічні навантаження знижуються спеціальним зрівняльним пристроєм. Таким чином стан СВПП з несправного непрацездатного переводиться у стан несправного працездатного з можливістю запобігання аварії та завершення вантажної операції.

Недостатність результатів досліджень процесів, що відбуваються у силовому ланцюзі СВПП з вільним підвісом вантажу після обриву троса, обумовлює відсутність ефективних засобів для запобігання падіння вантажу.

Тому розробка засобів забезпечення утримання вантажу після обриву троса СВПП, чому присвячена дана робота, є актуальним і перспективним напрямком, що забезпечує зниження експлуатаційних витрат та підвищення безпеки експлуатації СВПП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 року, № 430-р). Дослідження пов'язані з виконанням держбюджетної НДР Національного університету "Одеська морська академія" (НУ "ОМА") "Удосконалення тактико-технічних і експлуатаційних характеристик суднових допоміжних і холодильних установок та пристроїв" (ДР № 0117U005138), у якій здобувач був відповідальним виконавцем роботи.

Мета й завдання дослідження. Мета дослідження – підвищення ефективності та безпеки експлуатації суднових вантажопідйомних пристроїв річкового та морського транспорту.

Наукова гіпотеза полягає у тому, що існує можливість запобігання падіння вантажу після обриву троса лебідки СВПП під час проведення вантажних операцій, методами та засобами компенсуючих впливів, зокрема регулюючим зниженням динамічного навантаження на СВПП.

Головне завдання дослідження полягає у створенні методів розрахунку та засобу, що забезпечує гарантоване утримання вантажу після обриву троса у СВПП.

Задачі дослідження.

1. Аналіз відомих технічних рішень та методів розрахунку засобів для запобігання аварії після обриву троса.

2. Встановити вплив урахування маси фрикціона у процесі роботи зрівняльного фрикційного пристрою при утриманні вантажу після обриву троса.

3. Розробити математичні моделі утримання стріли та вантажу у СВПП з гнучким підвісом стріли у випадку обриву троса і провести аналіз перехідних процесів у ланках силового ланцюга СВПП.

4. Розробити засіб компенсуючого впливу на динамічні навантаження у силовому ланцюзі після обриву троса СВПП.

5. Удосконалити математичні моделі процесу утримання вантажу після обриву троса СВПП із урахуванням пружності металокопункції.

Об'єктом дослідження є динамічні процеси, що відбуваються у силовому ланцюзі суднових вантажопідйомних пристроїв при втриманні вантажу у випадку обриву троса.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності експлуатації суднових вантажопідйомних пристроїв, зокрема забезпечення утримання вантажу та завершення вантажної операції після обриву троса.

Методи дослідження: аналізу й узагальнення, а також наукової класифікації – при проведенні інформаційного пошуку та дослідженні стану проблеми; експертного оцінювання – для вибору напряму та теми дисертаційної роботи; системного аналізу – для розробки технології наукового дослідження; теоретичні положення динаміки складних механічних систем – при розробці математичних моделей процесів, що відбуваються у силовому ланцюзі СВПП у випадку обриву троса; числові методи розв'язання диференціальних рівнянь – при проведенні обчислювального експерименту; верифікація математичних моделей проведена на експериментальному стенді у лабораторних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні актуальної науково-технічної задачі утримання вантажу після обриву троса судового вантажопідйомного пристрою та подальшого завершення вантажної операції, що має практичне значення для підвищення ефективності експлуатації суднових вантажопідйомних пристроїв, що є невід'ємною складовою експлуатації засобів морського транспорту. Наукове розв'язання задачі полягає у створенні і удосконаленні методів розрахунку параметрів здвоєних поліспаств.

У результаті досліджень отримані наступні наукові результати:

– вперше встановлено, що у процесі роботи зрівняльного фрикційного пристрою під час утримання вантажу маси фрикціона здійснюють рух із періодичними зупинками, що дає змогу ідентифікувати параметри фрикціона для забезпечення допустимих навантажень на елементи СВПП;

– вперше розроблені математичні моделі утримання стріли та вантажу у СВПП з гнучким підвісом стріли після обриву троса зведеного поліспасти, які дають змогу розрахувати максимальні динамічні навантаження ланок силового ланцюга та визначити умови, за яких забезпечується утримання вантажу або стріли;

– вперше запропонований засіб компенсуючого впливу на динамічні навантаження у силовому ланцюзі після обриву троса СВПП – зрівняльний пристрій із ступінчастим опором фрикціона, який забезпечує обмеження динамічних зусиль у допустимих межах не лише у вантажному підвісі, а й у пружній металокопструкції;

– удосконалені математичні моделі процесу утримання вантажу після обриву троса у зведеному поліспасти, які відрізняються від відомих урахуванням пружності металокопструкції, швидкості вантажу у момент обриву троса та впливу довжини підвісу, що дозволяє більш точно визначити максимальні динамічні зусилля у пружних зв'язках силового ланцюга.

Практична значимість отриманих результатів. Результати виконаного дослідження можуть використовуватися при створенні конструкцій безпечних зведених поліспасти для оснащення суднових вантажопідйомних пристроїв, а також для визначення умов, за яких можливе запобігання падінню вантажу та аварії суднового вантажопідйомного пристрою після обриву тросу зведеного поліспасти.

Результати роботи використані при створенні експериментального зразка безпечного зведеного поліспасти із зрівняльним фрикційним пристроєм для козлового крана КК-12,5 на Одеському металообробному заводі Міністерства оборони України (акти впровадження і експериментальної перевірки від 05.05.2005 р.). Технічне рішення, захищене патентом на винахід України № 76052, реалізоване у підйомнику ПГ1.БКС триповерхового складу готової продукції (відзив про реалізацію від 5.02.2009 р.).

Результати роботи використані у навчальному процесі НУ "ОМА" на кафедрі суднових допоміжних установок і холодильної техніки у лекційних курсах дисципліни "Суднові допоміжні установки і система та їх експлуатація". Також отримані результати використані у держбюджетній НДР НУ "ОМА" ДР № 0117U005138 "Удосконалення тактико-технічних і експлуатаційних характеристик суднових допоміжних і холодильних установок та пристроїв", у якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно, без співавторів проведений інформаційний пошук і виконаний аналіз вимог Регістру до забезпечення безпеки після відмови елементів конструкції суднових вантажопідйомних пристроїв, розглянуті основні типи зрівняльних пристроїв безпечних зведених поліспасти, виконаний аналіз методів розрахунків параметрів безпечних зведених поліспасти, математичних моделей утримання вантажу за наявності пружної металокопструкції, методологічно обґрунтовано напрям та завдання дисертаційного дослідження, розроблено математичні моделі процесу утримання вантажу за наявності пружної металокопструкції та при гнучкому підвісі стріли, розраховані умови,

за яких можливо утримання вантажу після обриву шкентеля зведеного поліспасти або стріли після обриву топенанта зведеного поліспасти, запропоновано використання ступінчастого опору фрикціона зрівняльного пристрою для зниження динамічних зусиль у металоконструкції до допустимих значень з метою підвищення ефективності експлуатації, розроблені технічні рішення зрівняльних пристроїв безпечних зведених поліспаств із постійним та ступінчастим опорами, результати упроваджені у виробництво та навчальний процес.

З опублікованих наукових робіт у співавторстві, у дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи і окремих розділів доповідалися й одержали схвалення на наступних наукових заходах.

Українській науково-практичній конференції “Грузоподъемные машины в общественном производстве. Состояние и перспективы развития” (м. Одеса, 2001 р.). Другій Всеукраїнській науково-практичній конференції виробників і споживачів піднімальних споруджень (м. Одеса, 2001 р.). Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми виробництва й безпечної експлуатації піднімальних споруджень в Україні й Росії” (м. Одеса, 2003 р.); Науково-технічних конференціях “Енергетика судна: Експлуатація та ремонт” (м. Одеса, 2011, 2014 роки); “Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт” (м. Одеса, 2012, 2013 роки); “Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт” (м. Одеса, 2015, 2019 роки).

Публікації. Результати дисертації опубліковані у 25 роботах, у тому числі: статті у фахових виданнях – 6 (серед них 1 – у виданні, що входить до науково-метричної бази *Scopus*), тези конференцій – 9, патенти України на винахід – 5, деклараційний патент України на винахід – 1.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 187 сторінок, де крім основного тексту містяться 53 рисунки і 5 таблиць. Список використаних джерел має 139 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено актуальність теми досліджень, її зв'язки з науковими програмами і темами, сформульовано мету й завдання дослідження, використані методи досліджень, визначені об'єкт та предмет дослідження, відображені наукова новизна, практична цінність роботи та особистий внесок здобувача. Наведено відомості про апробацію, публікації та впровадження результатів дослідження.

У **першому розділі** “Стан проблеми й постановка завдань дослідження” проведено огляд особливостей конструкції суднових вантажопідйомних пристроїв та вимог Регістру до забезпечення безпеки після відмови елементів їх конструкції. Проведено класифікацію основних типів відомих технічних рішень безпечних зведених поліспаств з різними типами зрівняльних пристроїв для забезпечення утримання вантажу після обриву тросу та успішного завершення

вантажної операції. В результаті проведеного аналізу методів визначення параметрів зрівняльних пристроїв встановлено, що в відомих методах не визначений характер руху елементів фрикціону зрівняльного пристрою під час утримання вантажу. Також, не врахований вплив довжини поліспастового підвісу на величину динамічних навантажень після обриву тросу. Визначено, що дослідження процесу утримання вантажу після обриву тросу при використанні безпечного здвоєного поліспасти з постійним зусиллям опору фрикційного зрівняльного пристрою проводились без врахування пружності металокопструкції СВПП. Не виявлено досліджень з визначення динамічних навантажень при утриманні вантажу або стріли за допомогою здвоєного поліспасти з балансиrom у суднових вантажопідйомних пристроях із гнучким підвісом стріли після обриву шкентеля або топенанта. Відоме технічне рішення здвоєного стрілового поліспасти із балансиrom з пружинним компенсатором-уловлювачем виконано по статичній схемі роботи і не ураховує динамічні складові процесу. У зв'язку з цим визначено необхідність визначення динамічних навантажень у силовому ланцюзі судового вантажопідйомного пристрою урахуванням пружної металокопструкції, що дає змогу точніше визначати максимальні динамічні навантаження конструктивних елементів та ідентифікувати параметри зрівняльного фрикційного пристрою. За суттю, це нова методика розрахунку, яка визначає головний напрям і основне завдання дослідження. Розроблена технологічна карта наукового дослідження, що відображає робочу гіпотезу та мету дослідження, а також технологію вирішення задач дослідження. Сформульовані допоміжні задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети дослідження.

У **другому розділі** “Теоретичні дослідження” удосконалені математичні моделі процесу утримання вантажу СВПП після обриву шкентеля при знаходженні приводу механізму підйому на жорсткій основі з урахуванням маси рухливих частин фрикціона, використання яких дає змогу визначити потрібну величину довжини ділянки роботи фрикціону при заданому коефіцієнті його опору. Встановлено, що рухомі елементи фрикційного зрівняльного пристрою під час роботи фрикціону рухаються періодично. При заданому коефіцієнті опору фрикціону $k = 1,1$ коефіцієнт динамічності навантаження поліспастового підвісу (ПП) $k_S = 1,17$. Довжина ділянки роботи фрикціону $h_4 = 0,498$ м при масі рухливих частин фрикціону $m_4 = 40$ кг. Довжина ділянки роботи фрикціону, розрахована за відомою математичною моделлю, що враховує тільки масу вантажу, дорівнює $h_4 = 0,561$ м. Отже, врахування маси рухливих частин фрикціона дає динамічну складову, що збільшує розрахункові зусилля у ПП на 6%. При цьому довжина дільниці гальмування зменшилась на 11%. Для випадків обриву тросу при підйомі вантажу коефіцієнт динамічності прикладення навантаження до поліспастового підвісу $k_S = 1,16$, при опусканні вантажу $k_S = 1,17$. Отже, більш гіршим є випадок обриву при опусканні вантажу.

Досліджені процеси, що відбуваються у силовому ланцюзі СВПП із пружною металокопструкцією при утриманні вантажу.

Динамічна модель процесу утримання вантажу після обриву троса при підйомі наведена на рис.1, де m_1 – маса обертових частин механізму підйому, приведена до поступального переміщення y_1 , що співпадає з напрямком переміщення вантажу y_2 , кг; m_2 – маса вантажу, кг; m_3 – маса металокопструкції, приведена до вертикальної деформації y_3 , відлічуваної від статичного положення за умови відсутності вантажу, кг; c_3 – жорсткість металокопструкції в точці прикладення навантаження, Н/м; c – жорсткість поліспастового підвісу вантажу після обриву одного з тросів, Н/м; G – вага вантажу, Н; h – приведена ділянка вільного ходу балансира, м; P – рушійне зусилля піднімального двигуна, приведене до поступального переміщення вантажу, $P = P_0 - \beta \dot{y}_1$, де P_0 – зусилля в момент пуску електродвигуна при числі обертів, рівному нулю, Н; β – коефіцієнт жорсткості механічної характеристики електродвигуна, Н с/м; S – зусилля у поліспастовому підвісі, Н; F – зусилля, що діє на металокопструкцію, Н; F_4 – зусилля опору фрикціона, Н.

Рух мас розділений на етапи. Перші два етапи – до відривна і після відривна стадія руху мас співпадають з відомими.

На третьому етапі вільного руху вантажу після обриву шкентеля під час вибору слабину поліспастового підвісу, рух мас описується рівняннями

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 &= 0; \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta \dot{y}_1 &= P_0; \\ m_2 \ddot{y}_2 &= -G. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Зусилля у ПП дорівнює нулю. Початкові умови:

$$\left. \begin{aligned} t_3 = 0, \quad y_3 &= (y_3)_2, \quad \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_2, \quad y_1 = (y_1)_2, \\ \dot{y}_1 &= (\dot{y}_1)_2, \quad y_2 = (y_2)_2, \quad \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

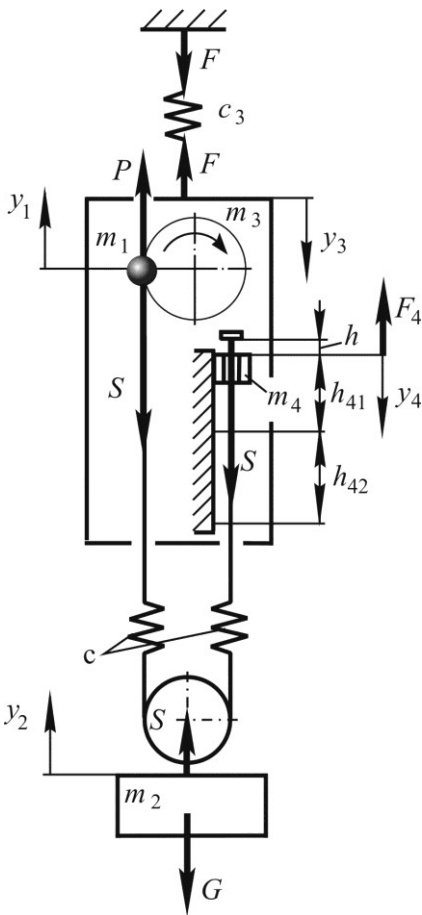
Індекси за скобками вказують, в кінці якого етапу брати відповідні значення указаних параметрів.

Вільний рух вантажу припиняється при виконанні умови:

$$-(\dot{y}_2)_2 t + \frac{gt^2}{2} = h - \frac{S_{br}}{2c} - (y_1 - (y_1)_2) - ((y_3)_2 - y_3) \quad (3)$$

Рисунок 1 – Динамічна модель СВПП із ступінчастим опором фрикціона

де $(\dot{y}_2)_2$ – швидкість вантажу в момент обриву шкентеля, м/с; S_{br} – зусилля, при якому трос обривається, Н; $(y_1)_2$ $(y_3)_2$ – переміщення мас m_1 та m_3 – при обриві троса, м.



У формулі (3) ліва частина – координата руху вантажу, права – поточне значення зазору у вантажному підвісі, яке вибирається за рахунок деформації тросів, приводом лебідки та переміщенням приведеної маси металокопструкції.

Після прикладення навантаження до поліспастового підвісу на четвертому етапі рівняння руху мас мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_1 - y_3 - y_2) &= 0; \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta \dot{y}_1 + c(y_1 - y_3 - y_2) &= P_0; \\ m_2 \ddot{y}_2 - c(y_1 - y_3 - y_2) &= -G. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{Зусилля у ПП визначається виразом } S = c(y_1 - y_3 - y_2). \quad (5)$$

Початкові умови для четвертого етапу:

$$t_4 = 0, y_3 = (y_3)_3, \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_3, y_1 = 0, \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_3, y_2 = -(y_3)_3, \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_3. \quad (6)$$

Розв'язання рівнянь руху мас методом Рунге-Кутта 4-го порядку для мостового крана вантажопідйомністю 20 т для випадку обриву шкентеля при підйомі "з підхопленням" наведено у вигляді залежностей зусиль у поліспастовому підвісі і металокопструкції (рис. 2). Коефіцієнти динамічності значно перевищують запаси міцності троса та металокопструкції, що вказує на неминучість руйнування їх.

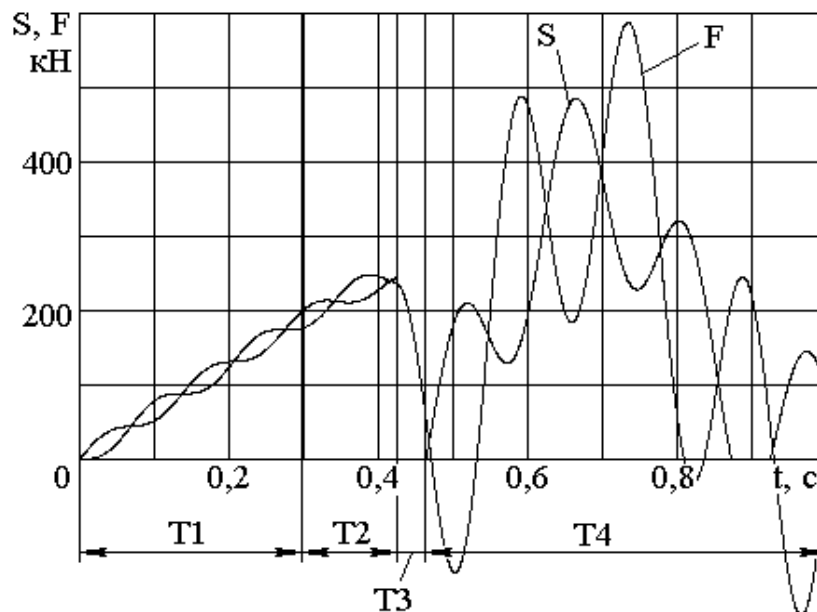


Рисунок 2 – Зусилля у металокопструкції і поліспастовому підвісі у випадку обриву тросу зведеного поліспаста з балансіром при підйомі вантажу "з підхопленням"

При використанні у силовому ланцюзі поліспастового підвісу фрикціона, з метою обмеження зусиль, умова ввімкнення його в роботу:

$$S = F_4 = kG, \quad (7)$$

де k – коефіцієнт опору фрикціону.

Рух мас на п'ятому етапі, при роботі фрикціону зрівняльного пристрою, описується системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= 0; \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta \dot{y}_1 + c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= P_0; \\ m_4 \ddot{y}_4 - c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= -kG; \\ m_2 \ddot{y}_2 - c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= -G, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\text{Зусилля у ПП визначається виразом } S = c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2). \quad (9)$$

Початкові умови для п'ятого етапу

$$\begin{aligned} t_5 = 0, y_3 = (y_3)_4, \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_4, y_1 = (y_1)_4, \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_4, \\ y_2 = (y_2)_4, \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_4, y_4 = \dot{y}_4 = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Рух, який характеризується роботою фрикціону, закінчується при умові:

$$\dot{y}_4 = 0. \quad (11)$$

Рух мас після вимкнення фрикціону описується системою рівнянь (4).

Початкові умови:

$$\begin{aligned} t_6 = 0, y_3 = (y_3)_5, \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_5, y_1 = (y_1)_5, \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_5, \\ y_2 = (y_2)_5 + (y_4)_5, \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_5. \end{aligned} \quad (12)$$

Зусилля у БЗП визначається виразом (5).

Отримані результати розв'язання рівнянь (рис. 3) показують, що використання фрикціону із постійним опором у силовому ланцюзі поліспастового підвісу забезпечує обмеження динамічних зусиль у допустимих межах лише у поліспастовому підвісі.

Максимальне розрахункове зусилля у БЗП 257 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 1,28 при остаточному запасу міцності у цілому шкентелі 2. Максимальне розрахункове навантаження на металоконструкцію становить 488 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 2,44. При нормативному запасі міцності металоконструкції 2 її руйнування неминуче. Таким чином доведено, що для розглянутої конструкції крана зусилля у металоконструкції досягають максимальних розрахункових значень ще до ввімкнення в роботу фрикціону.

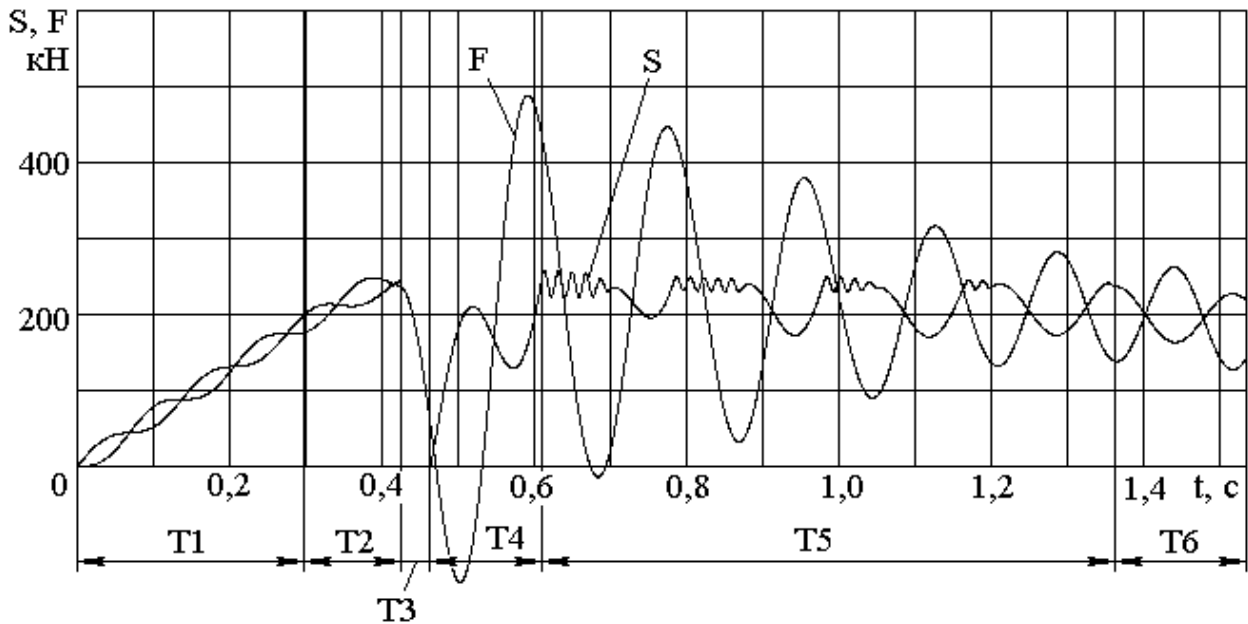


Рисунок 3 – Зусилля у металокопструкції і поліспастовому підвісі для випадку обриву троса БЗП при підйомі вантажу "з підхопленням"

Запропоновано використання фрикціону із ступінчастим опором для збільшення часу прикладення навантаження до металокопструкції з метою зменшення максимальних динамічних зусиль. Досліджено варіант використання двоступінчастого опору. Графік залежності опору F_4 фрикціону від шляху показаний на рис. 4. Вибір двоступінчастого опору фрикціону обумовлений порівняльною простотою конструктивного виконання зрівняльного пристрою.

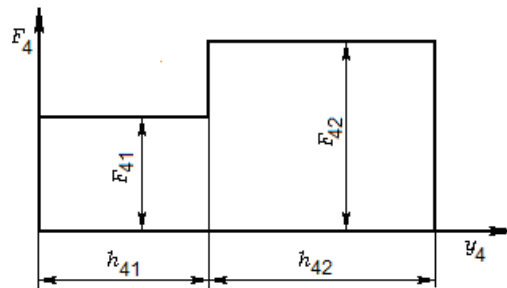


Рисунок 4 – Графік залежності опору фрикціону від переміщення рухливих його частин

Умова ввімкнення першого ступеня фрикціону в роботу:

$$S = F_{41} = kG/n, \quad (13)$$

де n – коефіцієнт зниження опору фрикціону.

На першому ступені роботи фрикціону рух мас описується системою диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= 0; \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta \dot{y}_1 + c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= P_0; \\ m_4 \ddot{y}_4 - c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= -kG/n; \\ m_2 \ddot{y}_2 - c(y_1 - y_3 - y_4 - y_2) &= -G. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Зусилля в ПП визначається за формулою (9). Початкові умови (10). Умова вимикання першого ступеню фрикціона:

$$y_4 = h_{41}. \quad (15)$$

Рух мас на шостому етапі описується системою рівнянь (4). Початкові умови (12). Зусилля, що діє на ПП, визначається за формулою (5).

Другий ступінь роботи фрикціона починається при виконанні умови

$$S = F_{42} = kG. \quad (16)$$

Рух мас на другому ступені (8). Зусилля в ПП визначається за формулою (9). Початкові умови для сьомого етапу

$$\begin{aligned} t_7 = 0, y_3 = (y_3)_6, \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_6, y_1 = (y_1)_6, \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_6, \\ y_2 = (y_2)_6, \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_6, y_4 = \dot{y}_4 = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Умова переходу до восьмого етапу (11). Рівняння, що описують рух мас на восьмому етапі (4). Зусилля, що діє на ПП, визначається за формулою (5). Початкові умови для восьмого етапу

$$t_8 = 0, y_3 = (y_3)_7, \dot{y}_3 = (\dot{y}_3)_7, y_1 = (y_1)_7, \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_7, y_2 = (y_2)_7 + (y_4)_7, \dot{y}_2 = (\dot{y}_2)_7. \quad (18)$$

Результати чисельного розв'язання систем диференціальних рівнянь руху наведені на рис. 5.

Максимальне навантаження на поліспасти 256 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 1,28. Максимальне навантаження на металоконструкцію 345 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 1,73. Отже, застосування ступінчастого опору фрикціону забезпечить обмеження динамічних навантажень до величин, при яких коефіцієнти динамічності навантаження ПП й металоконструкції не перевищать відповідних запасів міцності.

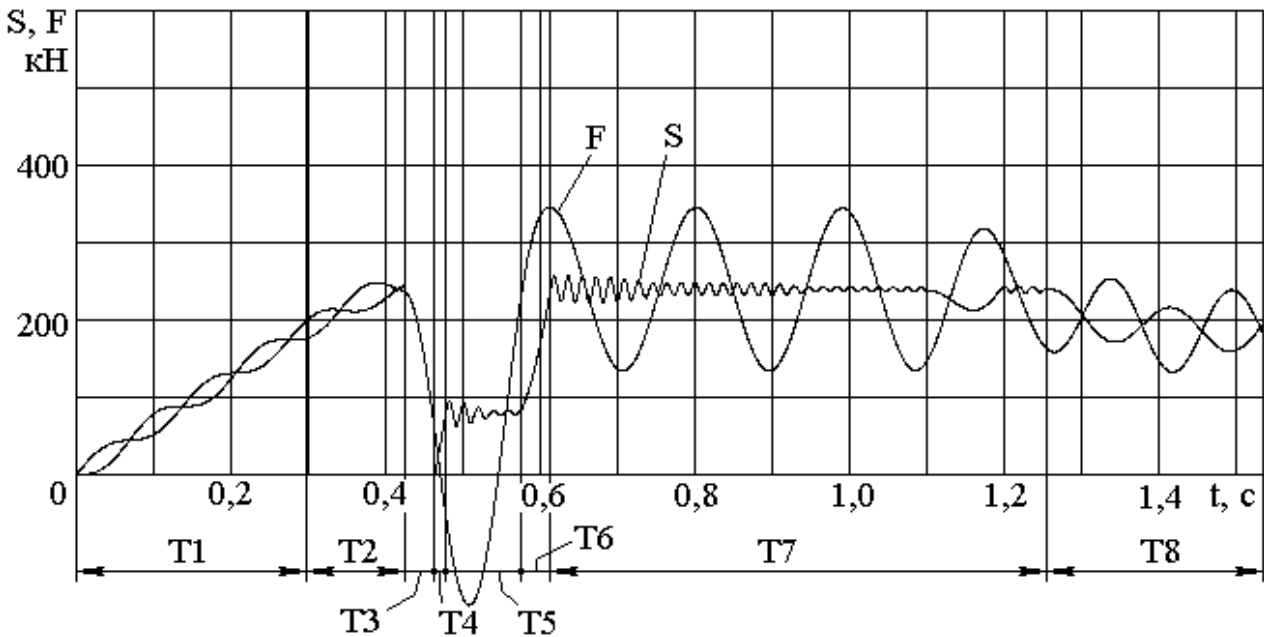


Рисунок 5 – Зусилля у металоконструкції і поліспастовому підвісі для випадку обриву троса БЗП при підйомі вантажу з основи "з підхопленням"

Розроблені математичні моделі перехідних процесів у силовому ланцюзі суднового вантажопідйомного пристрою з гнучким підвісом стріли після обриву троса здвоєного поліспасти.

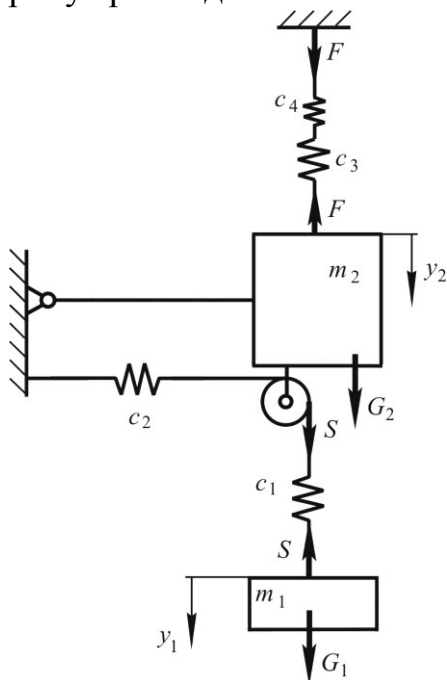


Рисунок 6 – Динамічна модель СВПП із пружинним компенсатором-уловлювачем у стріловому поліспасті

Для дослідження процесів у силовому ланцюзі СВПП при утриманні вантажу після обриву топенанта здвоєного стрілового поліспасти з балансіром із пружинним компенсатором-уловлювачем прийнята двомасова модель (рис. 6). На рис. 6 позначено: m_1 – маса вантажу, кг; m_2 – приведена до поступального руху вантажу маса стріли, кг; c_1 – коефіцієнт жорсткості вантажного поліспасти, Н/м; c_2 – коефіцієнт жорсткості гілок тросів, що йдуть на барабан лебідки механізму підйому, Н/м; c_3 – жорсткість здвоєного стрілового поліспасти після обриву топенанта, Н/м; G_1 – вага вантажу, Н; G_2 – вага стріли, Н; y_1, y_2 – переміщення мас m_1 та m_2 відносно недеформованого стану системи, м; c_4 – жорсткість пружинного компенсатора-уловлювача, Н/м.

Визначені рівняння руху мас під час утримання стріли здвоєним поліспастом з пружинним компенсатором-уловлювачем після обриву топенанта:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 - \left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) (y_1 - y_2) &= -G_1; \\ m_2 \ddot{y}_2 + \left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) (y_1 - y_2) - \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} y_2 &= -G_2. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Початкові умови:

$$t = 0, \quad y_1 = \frac{G_1}{\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}} + \frac{G_1 + G_2}{c_3}, \quad \dot{y}_1 = 0, \quad y_2 = \frac{G_1 + G_2}{c_3}, \quad \dot{y}_2 = 0. \quad (20)$$

Зусилля у стріловому поліспасті:

$$F = \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} y_2. \quad (21)$$

Зусилля у вантажному поліспасті

$$S = \left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) (y_1 - y_2). \quad (22)$$

Рівняння руху мас (19) розв'язані методом Рунге-Кутта для крана вантажопідйомністю 5 т (рис. 7). Визначені максимальні розрахункові динамічні навантаження конструктивних елементів при використанні зведеного поліспаста з балансиром із пружинним уловлювачем-компенсатором.

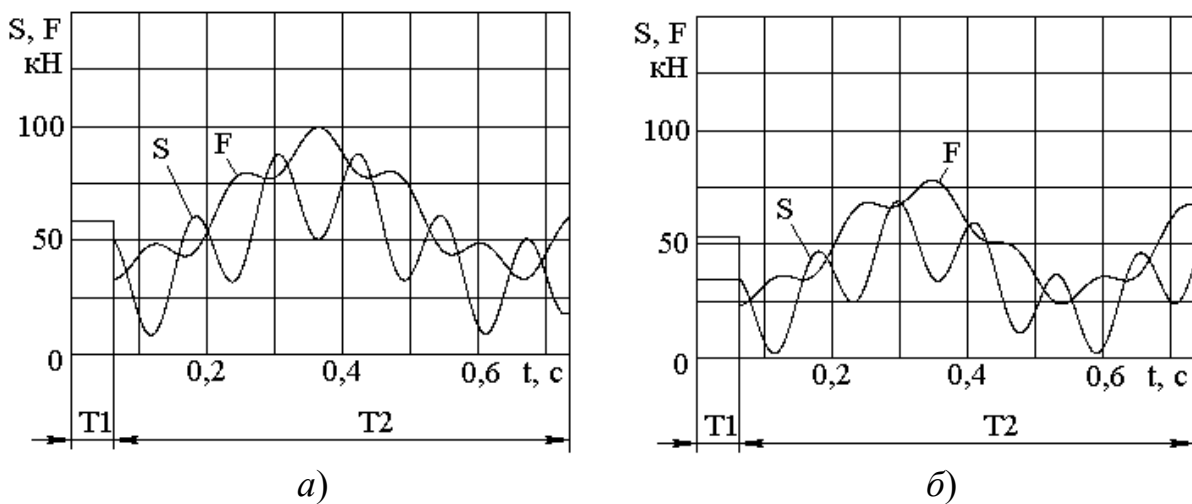


Рисунок 7 – Зусилля у стріловому та вантажному поліспадах при відмові топенанта: а) вантаж масою 5 т; б) вантаж масою 3,6 т

У результаті доведено, що використання пружинного уловлювача-компенсатора балансира зведеного стрілового поліспада не забезпечує максимальні динамічні навантаження у допустимих межах, що вимагає нових технічних рішень. Аналіз свідчить, що максимальне зусилля в стріловому поліспаді 99,6 кН, статичне навантаження на стріловий поліспад 65,9 кН. Відповідно коефіцієнт динамічності зусилля у стріловому поліспаді 1,51. У підвісі вантажу 92,1 кН, відповідно коефіцієнт динамічності 1,8. Для тросів стрілових і вантажних поліспадов кранів вантажопідйомністю 161 т і більше регламентований коефіцієнт запасу міцності 3. З урахуванням зменшення площі поперечного перерізу троса до норм бракування та втрати міцності при згинанні на блоках поліспада до 50 % можна стверджувати, що обрив другого троса неминучий і для кранів вантажопідйомністю до 160 т для досліджуваної конструкції поліспада.

Проведено розрахунки і для вантажу масою, меншою за номінальну – 3,6 т: максимальне зусилля у стріловому підвісі 78,3 кН, коефіцієнт динамічності 1,2, у підвісі вантажу 68,7 кН, коефіцієнт динамічності 1,37. Коефіцієнти динамічності не перевищують запас міцності троса, що свідчить про можливість утримання стріли з вантажем на другому тросі для успішного завершення вантажної операції.

У **третьому розділі** “Експериментальні дослідження процесів навантаження металокопункцій СВПП”, адекватність математичних моделей та ефективність використання ступінчастого опору фрикціона зрівняльного пристрою підтверджена експериментально, у лабораторних умовах. Проведено

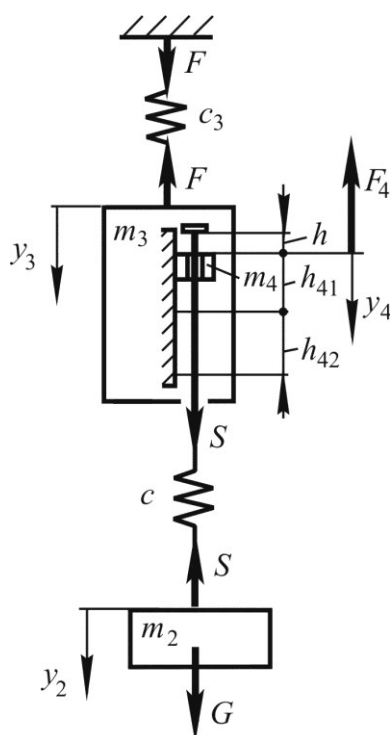


Рисунок 8 – Динамічна модель експериментального стенда

моделювання на стенді процесу навантаження металокопункції при утриманні вантажу за наявності у підвісі трьох типів зрівняльних пристроїв – з балансиrom (тип I), з фрикціоном із постійним опором (тип II) та із ступінчастим опором (тип III). Максимальне навантаження на металокопункцію визначалось за максимальним прогином. Математичні моделі розроблені за моделлю, яку наведено на рис. 8. Моделі розроблені для кожного з трьох випадків динамічного навантаження металокопункції й пружного підвісу - після зникнення у ньому зусилля.

Процес утримання вантажу під час роботи фрикціона описується системою

$$\left. \begin{aligned} m_3 \ddot{y}_3 + c_3 y_3 - c(y_2 - y_3 - y_4) &= 0; \\ m_2 \ddot{y}_2 + c(y_2 - y_3 - y_4) &= G; \\ m_4 \ddot{y}_4 - c(y_2 - y_3 - y_4) &= -\frac{kG}{n}. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Математичні моделі програмно реалізовані з використанням методу Рунге-Кутта 4-го порядку. Проведені обчислювальні експерименти. Розрахункові коефіцієнти динамічності навантаження металокопструкції k_F та отримані під час експериментальних досліджень на стенді наведені у таблиці 1.

Аналіз отриманих значень свідчить про адекватність математичних моделей фізичним процесам у силовому ланцюгу СВПП, про ефективність застосування ступінчастого опору фрикціона для обмеження навантаження пружної металокопструкції при утриманні вантажу. Максимальна розбіжність розрахункових значень k_F та експериментальних не перевищує 7 %.

Таблиця 1 – Результати теоретичних і експериментальних досліджень

Тип зрівняльного пристрою	Розрахункові значення k_F	Експериментальні значення k_F	Розбіжність, %
I	2,91	2,85	2
II	2,28	2,44	7
III	1,71	1,73	1

Математичні моделі, розроблені на основі експериментального стенда, можна використати для дослідження процесів у силовому ланцюзі СВПП при обриві троса і утриманні вантажу за допомогою БЗП при вимкненому приводі лебідки.

У **четвертому розділі** “Розробка засобів, що забезпечують гарантоване утримання вантажу після обриву троса у СВПП” наведені запропоновані нові технічні рішення БЗП із зрівняльними фрикційними пристроями, які захищені патентами України на винахід.

Для СВПП із механізмом підйому на жорсткій основі запропоновані копструкції БЗП із зрівняльним штоком і постійним опором фрикціона. Технічне рішення із гальмовими планками, постійно притиснутими до штока, захищене патентом на винахід № 72052, з клиновими затискачами – патентом на винахід № 84630.

Для СВПП із пружною металокопструкцією запропоновані копструкції БЗП із зрівняльним барабаном та ступінчастим опором фрикціона. Копструкція із постійним притисканням гальмових елементів захищена патентом на корисну модель № 33449, із клиновими затискачами – патентом на винахід № 90600.

Для СВПП, у яких вантаж піднімається здвоєним поліспастром із одним тросом, запропоновані копструкції із затискачами ковзної дії. Рішення із постійним опором захищене патентом на винахід № 84575, із ступінчастим опором – патентом на винахід № 99477.

Технічна реалізація винаходу за патентом № 72052 здійснена у підйомнику ПГ1.БКС, а копструкція за патентом № 33449 використана при створенні експериментального зразка БЗП із зрівняльним фрикційним пристроєм для козлового крана КК-12,5.

ВИСНОВКИ

У дослідженні розв'язана актуальна науково-технічна задача створення методів визначення параметрів безпечних здвоєних поліспаств СВПП та умов, за яких можливе утримання вантажу або стріли суднового вантажопідйомного пристрою після обриву шкентеля або топенанта та подальшого успішного завершення вантажної операції.

1. Визначено, що обрив тросу СВПП слід досліджувати при мінімальній довжині поліспадового підвісу як специфічний випадок режиму динамічного навантаження. Доведено, що розрахунки максимальних вертикальних динамічних навантажень суднових вантажопідйомних пристроїв необхідно проводити з довжиною поліспадового підвісу, реально можливою при проведенні навантажувально-розвантажувальних робіт. Для розглянутої конструкції крана при максимальній і мінімальній довжинах поліспадового підвісу різниця в навантаженнях становить: при підйомі “з підхопленням” для поліспадового підвісу 17 %, а для металоконструкції 6 %; при обриві тросу здвоєного поліспада з балансиrom для підвісу 56 %, для металоконструкції 24 %. Це дозволяє визначити найгірший режим динамічного навантаження.

2. Урахування впливу швидкості вантажу та деформації металоконструкції у момент обриву шкентеля дає змогу точніше визначати максимальні динамічні навантаження конструктивних елементів СВПП.

3. Доведено, що у процесі роботи зрівняльного фрикційного пристрою під час утримання вантажу маси фрикціона здійснюють рух із періодичними зупинками. Це дає змогу визначити необхідні параметри фрикціона для забезпечення допустимих навантажень на елементи СВПП.

4. Використання постійного опору фрикціона зрівняльного пристрою у безпечному здвоєному поліспастві СВПП забезпечує обмеження динамічних зусиль при утриманні вантажу лише у поліспадовому підвісі при роботі з вантажем номінальної ваги. У пружній металоконструкції суднового вантажопідйомного пристрою коефіцієнти динамічності перевищують запас її міцності.

5. Розрахункові динамічні зусилля у силовому ланцюзі суднового вантажопідйомного пристрою із гнучким підвісом стріли при обриві шкентеля або топенанта здвоєного поліспада з балансиrom перевищують розривні зусилля тросів при роботі з вантажем номінальної ваги. Використання балансира з пружинним уловлювачем-компенсатором у стріловому поліспастві при роботі з вантажем номінальної ваги не забезпечує обмеження зусиль у підвісі при утриманні стріли після обриву шкентеля меншу за розривне зусилля троса.

6. Запропоноване використання ступінчастого опору фрикціона зрівняльного пристрою при роботі з вантажем номінальної ваги дозволяє забезпечити динамічні навантаження при утриманні вантажу після обриву шкентеля не тільки у поліспадовому підвісі, а й у пружній металоконструкції. Для досліджуваної конструкції крана вантажопідйомністю 20 т при утриманні

вантажу у процесі підйому максимальне розрахункове навантаження на металоконструкцію становить 488 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 2,44. Використання ступінчастого опору дозволяє знизити розрахункове зусилля до допустимого значення 345 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 1,73. Для розглянутої конструкції СВПП коефіцієнт запасу міцності металоконструкції становить 2.

7. Застосування розроблених безпечних здвоєних поліспаств, що запобігають падіння вантажу після обриву троса, підвищує ефективність експлуатації СВПП за рахунок зниження експлуатаційних витрат на ліквідацію наслідків аварії та підвищення безпеки експлуатації СВПП та судна у цілому. Технічні рішення відповідають положенням Транспортної стратегії України на період до 2030 року, одними із завдань якої є: створення умов для запобігання аваріям на транспортних засобах, які можуть призвести до погіршення екологічного стану водних об'єктів (забруднення), що може шкідливо вплинути на здоров'я людей і стан водних екосистем; гарантування доставки “від дверей до дверей” та виконання “шести правил логістики” в ланцюгах поставок (вантаж, якість, кількість, час, місце, витрати – тобто необхідний товар, необхідної якості, в необхідній кількості доставлений у відповідний час у визначене місце з мінімальними витратами); забезпечення належного рівня безпеки під час перевезення небезпечних вантажів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці

1. Стукаленко А. М. Влияние длины полиспастного подвеса на динамику подъема мостового крана при нормальной работе и обрыве каната / А. М. Стукаленко // Тр. ученых Одес. политехн. ун-та. Одесса, 1998. – Вып. 1. – С. 96-97.
2. Семенюк В. Ф. Нагрузки мостового крана, оснащенного безопасным сдвоенным полиспастом у 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.
3. Стукаленко М. И. Моделирование процесса нагружения металлоконструкции кранов мостового типа при работе безопасных сдвоенных полиспаств / М. И. Стукаленко, А. М. Стукаленко, В. М. Стукаленко // Безопасность труда в промышленности: – 2005. – №11 – С.24-28.
4. Стукаленко М. И. Математическая модель подъема груза мостовым краном с основания “с подхватом” при обрыве каната / М. И. Стукаленко, О. М. Стукаленко // Вісник Одес. держ. акад. будівн. та архітект. – Одеса, 2010. – вип. 38. – С. 594-598.
5. Стукаленко О. М. Математична модель утримання стріли стрілового крана після обриву троса / О. М. Стукаленко, Д. І. Василець // Судостроение и морская инфраструктура (Shipbuilding & marine infrastructure). – 2018. – № 2(10). – С. 63-69.

6. Стукаленко М. І. Запобігання аварії мостового крана при обриві каната здвоєного поліспасти з балансиrom / М. І. Стукаленко, **О. М. Стукаленко**, Д. І. Василюк // Вісник Одес. держ. акад. будівн. та архітект. – Одеса, 2019. – Вип. 74. – С. 67-74.

7. Патент 76052 Україна, МПК В 66 D 3/00, В 66 С 15/00. Зрівняльний фрикційний пристрій для безпечних канатних підйомних систем / Стукаленко М. І., **Стукаленко О. М.**, Стукаленко В. М., Ясиновський О. М.; заявник і власник патенту Одес. держ. акад. будівн. та архітект. № 20041210475; заявл. 20.12.04; опубл. 15.06.06, Бюл. № 6.

8. Патент 84575 Україна, МПК В 66 В 5/16, В 66 С 15/00, В 66 D 1/54. Уловлювач для вантажопідйомних механізмів / Стукаленко М. І., **Стукаленко О. М.**, Стукаленко В. М.; заявник і власник патенту Одес. держ. акад. будівн. та архітект. № 200603718; заявл. 05.04.06; опубл. 10.11.08, Бюл. № 21.

9. Патент 84630 Україна, МПК В 66 D 1/54, В 66 D 3/00, В 66 С 15/00. Зрівняльний фрикційний пристрій для безпечних канатних підйомних систем / Стукаленко М. І., **Стукаленко О. М.**, Стукаленко В. М., Стебленко А. А., Ясиновський О. М.; заявник і власник патенту Одес. держ. акад. будівн. та архітект. № 200701446; заявл. 12.02.07; опубл. 10.11.08, Бюл. № 21.

10. Патент 90600 Україна, МПК В 66 D 3/00, В 66 С 15/00. Безпечний здвоєний поліспасти / 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.

11. Патент 99477 Україна, МПК В 66 В 5/16, В 66 D 3/04, В 66 D 3/10, D 66 С 15/00. Уловлювач для вантажопідйомних механізмів / Стукаленко М. І., **Стукаленко О. М.**, Стукаленко В. М.; заявник і власник патенту Одес. держ. акад. будівн. та архітект. № 201004014; заявл. 06.04.10; опубл. 27.08.12, Бюл. № 19.

Праці апробаційного характеру

12. Создание безопасных сдвоенных полиспастов с уравнительными фрикционными устройствами / М. И. Стукаленко, **А. М. Стукаленко**, В. Ф. Семенюк и др. // Сб. статей и тезисов докл. научно-практической конференции "Грузоподъемные машины в общественном производстве. Состояние и перспективы развития": 24-25 мая 2001 г. / НТА "Подъемные сооружения". Одесса, 2001. – С. 97-100.

13. Стендовые исследования работы безопасного сдвоенного полиспасти с уравнительным фрикционным устройством / М. И. Стукаленко, **А. М. Стукаленко**, В. В. Борисик, Ю. В. Полозов // Сборник статей и тезисов докладов второй Всеукраинской научно-практической конференции производителей и потребителей подъемных сооружений, г. Одесса, 22-23 ноября 2001 г./ НТА "Подъемные сооружения" - Одесса. – С. 199-200.

14. Моделирование процесса нагружения металлоконструкции кранов мостового типа при работе безопасных сдвоенных полиспастов / М. И. Стукаленко, **А. М. Стукаленко**, В. М. Стукаленко и др. // Сб. тр. н.-

практ. конф. "Проблемы производства и безопасности эксплуатации подъемных сооружений в Украине и России": – Одесса, 2004. – С. 203-209.

15. Повышение надежности судового грузового устройства / **А. М. Стукаленко** // Матеріали науково-технічної конференції “Енергетика судна: експлуатація та ремонт”, 05.04.2011 – 07.04.2011. – Одеса: ОНМА, 2011. – С. 112-113.

16. Анализ динамических нагрузок судового стрелового крана при отказе топенанта сдвоенного стрелового полиспаста / **А. М. Стукаленко**, А. А. Кылыннык // Матеріали науково-технічної конференції “Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт”, 21.03.2012 – 23.03.2012. Частина I. – Одеса: ОНМА, 2012. – С. 32-33.

17. Определение эффективности использования амортизационных элементов в сдвоенном стреловом полиспасте с балансиром при отказе топенанта / **А. М. Стукаленко** // Матеріали науково-технічної конференції “Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт”, 20.03.2013 – 22.03.2013. Частина I. – Одеса: ОНМА, 2013. – С. 52-53.

18. Про можливість утримання вантажу після відмови шкентеля судового стрілового крану / **О. М. Стукаленко**, М. О. Маяков // Матеріали науково-технічної конференції "Енергетика судна: експлуатація та ремонт", 26.03.2014-28.03.2014. Частина II. – Одеса: ОНМА, 2014. – С. 38-40.

19. Анализ уравнительных устройств сдвоенных полиспастов / **О. М. Стукаленко** // Матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт", 24.03.2015-25.03.2015. Частина II. – Одеса: ОНМА, 2015. – С. 38-40.

20. Дослідження здвоеного стрілового поліспаста з підпружиненим балансиром / **О. М. Стукаленко**, Л. М. Макаренко // Матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт", 21.03.2019 – 22.03.2019. – Одеса: ОНМА, 2019. – С. 83-88.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

21. Семенюк В. Ф. Математическая модель безопасного сдвоенного полиспаста 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.

22. Стукаленко М. И. Влияние направления движения груза на процесс его удержания безопасным сдвоенным полиспастом с уравнительным фрикционным устройством / М. И. Стукаленко, **А. М. Стукаленко**, А. С. Хвищук // Стальные канаты. – 1999. – Вып. 1. – С.159-164.

23. Стукаленко М. И. Создание безопасных сдвоенных полиспастов с уравнительными фрикционными устройствами / М. И. Стукаленко, **А. М. Стукаленко**, В. Ф. Семенюк // Подъемные сооружения и специальная техника: – Одесса, 2001. – № 2. – С. 9-11.

24. Стукаленко М. И. Повышение безопасности работы мостового крана / М. И. Стукаленко, **А. М. Стукаленко**, В. В. Борисик, Ю. В. Полозов // Стальные канаты. – 2001. – Вып. 2. – С. 218-225.

25. 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.

АНОТАЦІЯ

Стукаленко О. М. Підвищення ефективності експлуатації суднових вантажопідйомних пристроїв. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача розробки методів розрахунку параметрів безпечних здвоєних поліспаств та визначення умов, за яких забезпечується підвищення ефективності експлуатації суднових вантажопідйомних пристроїв за рахунок утримання вантажу при обриві тросу.

Встановлено, що максимальні розрахункові динамічні зусилля у металокопункції при використанні постійного опору фрикціона зрівняльного пристрою досягають величин, за яких коефіцієнти динамічності зусиль у металокопункції перевищують регламентований запас її міцності. Запропоноване використання ступінчастого зусилля опору фрикціона для збільшення часу прикладення навантаження до металокопункції з метою зменшення максимальних динамічних зусиль у ній і досліджена ефективність цього рішення. Для досліджуваної копункції крана вантажопідйомністю 20 т при утриманні вантажу у процесі підйому максимальне розрахункове навантаження на металокопункцію становить 488 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 2,44. Використання ступінчастого опору дозволяє знизити розрахункове зусилля до допустимого значення 345 кН, що відповідає коефіцієнту динамічності 1,73.

Розроблена методика розрахунків процесів у силовому ланцюзі суднового вантажопідйомного пристрою з гнучким підвісом стріли після обриву топенанта або шкентеля здвоєного поліспаства. Визначені максимальні розрахункові динамічні навантаження конструктивних елементів при використанні здвоєного поліспаства з балансиром та з балансиром із пружинним уловлювачем-компенсатором. З'ясовано, що використання пружинного уловлювача-компенсатора балансира здвоєного стрілового поліспаства не забезпечує максимальні динамічні навантаження у стріловому поліспастві у допустимих межах, що вимагає нових технічних рішень. Визначена допустима вага вантажу, за якою забезпечується утримання вантажу або стріли після відмови шкентеля або топенанта здвоєного поліспаства з балансиром.

Ключові слова: судновий вантажопідйомний пристрій; обрив троса; безпечний здвоєний поліспаст; утримання вантажу; утримання стріли; зрівняльний фрикційний пристрій; пружинний компенсатор-уловлювач.

ANNOTATION

Stukalenko O. M. Increase of operational efficiency of a cargo-handling gear of sea-going ships. – Manuscript.

Dissertation on competition of a scientific degree of PhD in Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in the speciality 05.22.20 – operation and maintenance of transport facilities. – National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, 2019.

The work is dedicated to solving the urgent scientific and technical problem of developing methods for calculating the parameters of safe dual tackle belts and determining the conditions under which cargo retention after cable breakage is ensured.

It has been established that the maximum calculated dynamic forces in the elastic metal structure of a ship's hoisting device when using constant drag of the leveling device and working with a load of rated load capacity reach values at which the dynamic factors of efforts in the metal structure exceed the regulated margin of its strength. The use of a stepped frictional drag force to increase the time of applying a load to a metal structure in order to reduce the maximum dynamic forces in it is proposed and the effectiveness of this proposal is investigated. For the studied design of the crane with a lifting capacity of 20 tons, this allows to reduce the design force from 488 kN, which corresponds to a dynamic coefficient of 2.44, to an acceptable 345 kN, which corresponds to a dynamic coefficient of 1.73.

A methodology for calculating dynamic processes in the power circuit of a ship's hoisting device with a flexible suspension of the boom after breaking a topper or a pendant of a double tackle has been developed. As a result, it was determined that the use of a spring trap-compensator for the balancer of the double boom pulley does not provide the maximum dynamic loads in the boom pulley within the permissible limits when working with a load of rated load capacity. The permissible weight of the cargo is determined, at which the cargo or boom is retained after the failure of the pendant or topenant of the double pulley with balancer.

Key words: ship lifting device; cable break; safe double pulley block; cargo retention; arrow holding; leveling friction device; spring compensator catcher.

Підп. до друку 17.03.2021. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И21-03-14

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності
ДК № 1292 від 20.03.2003