

УДК 681.269

Л. В. Коломієць, д.т.н., А. Л. Передерко, д.т.н., О. В. Банзак, д.т.н., Г. Д. Братченко, д.т.н.,
Г. І. Оляш

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, м. Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВІСНИХ ЗАПОБІЖНИХ ТА ЗВАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

У статті показано, що в комплексній механізації та автоматизації виробничих процесів, виключенні важкої ручної праці при виконанні основних і допоміжних виробничих операцій велика роль відводиться високопродуктивним, надійним та безпечним в експлуатації вантажопідіймальним машинам.

Підвищення продуктивності, надійності та безпеки їх роботи суттєво залежить від застосування в них запобіжних і зважуючих пристроїв.

Проведено аналіз найбільш ефективних та раціональних місць установки вказаних пристроїв на вантажопідіймальних машинах, чим встановлено, що раціональною є установка пристроїв на гаку та в гаковій підвісі. Наведено опис запобіжних та зважуючих пристроїв, які реалізують цей варіант установки.

Проведені дослідження показують, що найбільш істотною похибкою таких пристроїв є похибка, що виникає через тертя у напрямних хвостовика гака, яка зменшується зі збільшенням ККД блоків поліспасти.

Ключові слова: вантажопідіймальна машина, зважування, похибка, запобіжник, кранові ваги, датчик.

L. V. Kolomiets, Dsc., A. L. Perederko, Dsc, O. V. Banzak, Dsc, H. D. Bratchenko, Dsc, H. I. Oliash

RESEARCH OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF HANGING SAFETY AND WEIGHING DEVICES

The article shows that in the complex mechanization and automation of production processes, the elimination of heavy manual labor when performing basic and auxiliary production operations, a large role is assigned to highly productive, reliable and safe-to-operate lifting machines. Increasing the productivity, reliability and safety of lifting machines in many cases depend on the safety and weighing devices used in them.

The most effective and rational installation locations for safety devices and scales on lifting machines have been analyzed. We established that the rational installation of scales on the hook and in the hook suspension is.

The article describes safety and weighing devices that implement this mounting option.

It is shown that the most promising direction for creating safety devices is the development of combined devices that contain force-measuring devices along with the mechanical basis; the possibility of placing all equipment, except for force-measuring sensors, in the crane operator's cab or on the console; and ease of integration into the design of signaling devices.

The authors' studies show that for mounted devices, random measurement errors are characteristic, caused by skew in the lifting-lowering load process due to the random nature of friction forces in the hoist system blocks. To reduce the specified error, the authors conducted studies that enabled the creation of crane electronic strain gauge scales with a load capacity of 20 to 200 kN, designed for weighing loads transported by cranes.

The scales have individual battery power sources and an indication of the load mass on a light board.

The results of experimental and field tests showed that the relative error and variation of measurement readings of these devices under static weighing conditions did not exceed 0.06 % of the measured value, which is within the permissible errors of the scales.

Keywords: lifting machine, weighing, error, fuse, crane scales, sensor.

DOI 10.32684/2412-5288-2025-2-27-72-80

Вступ. У комплексній механізації та автоматизації виробничих процесів, виключенні важкої ручної праці при виконанні основних і допоміжних виробничих операцій значна роль відведена високопродуктивним, надійним і безпечним в експлуатації вантажопідіймальним машинам. Підвищення продуктивності, надійності та безпеки їх роботи суттєво залежить від застосовуваних в них запобіжних і зважуючих пристроїв [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як показує аналіз досліджень і відомих публікацій, найбільш ефективними й раціональними місцями установки запобіжних та зважувальних пристроїв на вантажопідіймальній машині є: гак, гакова підвіска, вантажний канат та вантажний візок [4 – 6]. Найпростішим місцем установки пристроїв є навішування їх на гак або вбудовування в гакову підвіску [7]. Найбільш перспективними конструкціями є комбіновані пристрої, що містять нарівні з механічною основою тензометричні силовимірювальні датчики, та мають можливість розміщення апаратури, за винятком самих датчиків, в кабіні кранівника або на пульті [8–10].

Відома конструкція обмежувача вантажопідіймальності крана [11], яка складається з основи 1, до якої приєднані вуха 2 і 3, за допомогою яких пристрій навішується на гак крана (рис. 1).

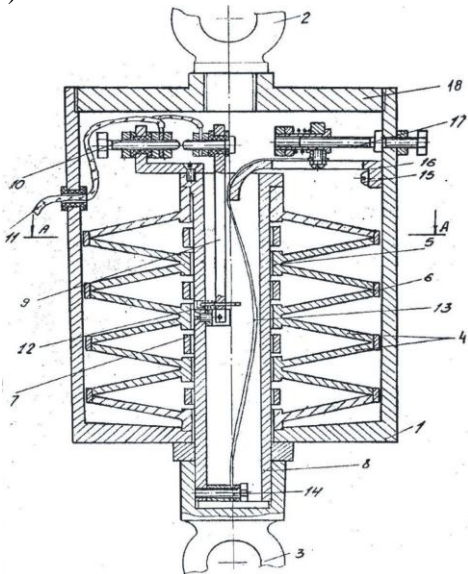


Рисунок 1 – Обмежувач вантажопідіймальності крана:

1 – основа; 2, 3 – вуха; 4 – пружний елемент; 5 – V- подібні тіла обертання; 6 – пружні кільця; 7 – регулювальні втулки; 8 – втулки; 9 – стрижень; 10 – мікровимикач; 11 – кабель; 12 – підпружинений контакт; 13 – гнучка пластина; 14, 15 – гвинт; 16 – пластина; 17 – механізм регулювання пластины; 18 – диск.

Усередині самої основи 1 розміщено пружний елемент 4, виконаний у вигляді набору встановлених по лінії дії зусилля V-подібних тіл обертання. Зовнішні поверхні тіл обертання 5 забезпечені пружними кільцями 6, що контактують із зазначеними тілами обертання внутрішньою поверхнею. Між внутрішніми поверхнями тіл обертання у вертикальному напрямку додатково встановлені регулювальні втулки 7. Пружний елемент 4 контактує з одного боку з основою 1, а з іншого – за допомогою втулки 8 і стрижня 9 з мікровимикачем 10, який пов'язаний кабелем 11 з ланцюгом механізму підймання. Усередині втулки 8 розміщений підпружинений контакт 12, який спрацьовує від зіткнення з гнучкою пластиною 13. Пластина 13 кріпиться за допомогою гвинта 14 до нижнього вуха 3, а також до основи 1 за допомогою гвинта 15 і пластины 16. Усередині основи 1 встановлений механізм регулювання пластины 17. Для зменшення жорсткості пружні кільця 6 виконані з прорізами. Вушко 2 через диск 18 з'єднане з основою 1.

Відмінною конструктивною ознакою такого обмежувача від існуючих є виконання пружного елемента передачі тиску у вигляді набору встановлених по лінії дії зусилля V-подібних тіл обертання, що дозволяє досягти точної передачі навантаження між елементами пристрою, внаслідок чого підвищується точність спрацьовування пристрою. Крім того, регулювальні втулки дають змогу встановлювати задану величину ходу обмежувача і тим самим захищають пружний елемент від руйнування. Виконання крайніх пружних елементів у вигляді тарілчастих пружин дозволяє досягти характерної для середніх елементів силопередачі зусилля на пружні кільця.

Запобіжний пристрій, який встановлено в гакову підвіску крана, наведено на рис. 2 [12]. Пристрій містить пружний елемент, який виконаний у вигляді усіченого конуса 1 з проточкою 2 в нижній внутрішній частині, та встановлений на ребрі 3 траверси 4 вантажного гаку 5. Ребро 3 утворено сполученими конічними поверхнями 6 і 7. Хвостовик 8 вантажного гаку 5 опирається на підшипник 9. Між підшипником 9 та конусом 1 розташована втулка 10. Виконавчий блок включає кінцевий вимикач 11, який встановлений на траверсі 4 і пов'язаний з хвостовиком.

При підйманні вантажу, маса якого перевищує допустиме значення, відбувається деформація конуса 1, при цьому нижній торець конуса 1 переміщається з внутрішньої поверхні ребра 6 на зовнішню поверхню 7, хвостовик 8 опускається і спрацьовує вимикач 11. При знятті навантаження за рахунок пружних властивостей конуса 1, останній повертається на поверхню 6.

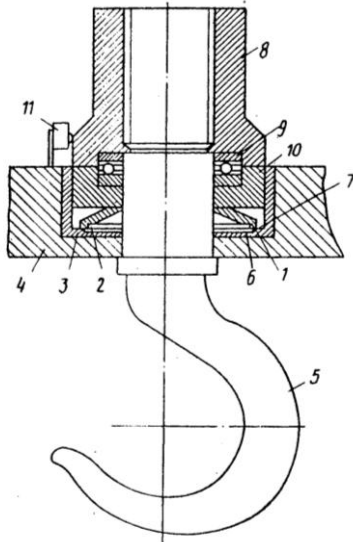


Рисунок 2 – Запобіжний пристрій крана:

1 – усічений конус; 2 – проточка; 3 – ребро траверси; 4 – траверса; 5 – вантажний гак; 6, 7 – конічні поверхні; 8 – хвостовик гаку; 9 – підшипник; 10 – втулка; 11 – кінцевий вимикач.

Дослідження точності та надійності роботи відомих запобіжних і зважувальних пристроїв, які встановлюють на гак крана або гакову підвіску, показують, що найбільш істотною похибкою є похибка, яка виникає через тертя у напрямних хвостовика гака, і зменшується зі збільшенням ККД блоків поліспасти.

Розглянемо чотириблочну підвіску, яка встановлюється на вантажопідіймальному крані з одинарним поліспастом [3, 7] (рис. 3).

У цьому випадку за умови рівного опору в опорах блоків натягу в гілках канатів $S_1 - S_4$, що набігають, будуть відрізнятися від натягу збігаючих гілок $S'_1 - S'_4$ на значення ККД блоків η . У зв'язку з тим, що канавки блоків розміщені симетрично відносно точки перетину вісі хвостовика гаку та вісі блоків, умови рівноваги підвіски в статиці можуть бути записані так:

$$\sum_{i=1}^L S_i + \sum_{i=1}^L S'_i - Q = 0; \quad (1)$$

При підніманні вантажу Q та ККД блоків $\eta \neq 0$ має виконуватися ще одна умова

$$(S_1 + S'_1)(\alpha_1 + a_2/2) + (S_2 + S'_2)a_2/2 - (S_4 + S'_4)(a_3 + a_2/2) - (S_3 + S'_3)\alpha_2/2 + QH \sin \alpha = 0, \quad (2)$$

де α – кут відхилення осі блоків від горизонтального положення через відмінність натягу в канатах поліспасти; H – відстань від осі блоків до центру з'ява гака.

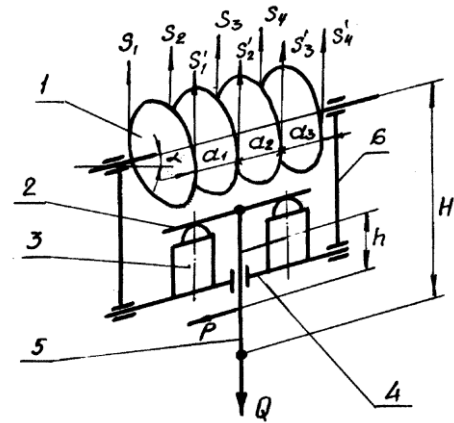


Рисунок 3 – Кінематична схема чотириблочної підвіски: 1 - блоки підвіски; 2 – нижня траверса; 3 – силівимірювальні датчики; 4 – опорна траверса; 5 – хвостовик гака; 6 – щоки підвіски.

Діапазон зміни кута становить 2α , тому що в залежності від режиму роботи механізму підйому підвіски буде повертатися в площині малюнка по або проти годинникової стрілки від вертикального положення.

Розглядаючи конкретний випадок вимірювання маси вантажу при його підйманні та позначивши натяг у гілках канату через S_1 та ККД блоків η , а також поклавши

$$1 + 1/\eta \approx 2, \quad a_2/a_1 = K_1, \alpha_1/H = K_2,$$

запишемо рівняння 2 в наступному вигляді:

$$S_1 a_1 [(2 + K_1)(1 - 1/\eta^6) + (1/\eta^2 - 1/\eta^6) K_1] + QH \sin \alpha = 0, \quad (3)$$

звідки

$$\sin \alpha = K_2 S_1 [(2 + K_1)(1/\eta^6 - 1) + K_1(1/\eta^4 - 1/\eta^2)] / Q \quad (4)$$

Із рис. 3 бачимо, що сприймаєме силівимірювальним датчиком зусилля від маси вантажу Q буде складати, яке сприймається датчиками зусилля $Q \cos \alpha$, тобто у результат вимірювання буде внесена перша складова похибки

$$(\Delta Q)_1 = Q - Q \cos \alpha,$$

або

$$\delta_1 = (1 - \cos \alpha) 100\%. \quad (5)$$

Тут і в подальшому під похибкою, зумовленою ККД, рахується похибка, яка викликана випадковим характером зміни сил тертя.

Друга складова похибки виникає із-за коливань сил тертя ковзання у напрямних хвостовика гака, тобто рухомому з'єднанні елементів 4 і 5 підвіски.

Так як повний робочий хід датчика складає близько 0,5 мм, то в цьому випадку можна прийняти, що в напрямних буде виникати опір від сил тертя спокою, а не руху. Кромочний тиск у напрямних при їх довжині h складає

$$P = (H/h)Q \sin \alpha \quad (6)$$

При коефіцієнті тертя f в напрямних зменшення зусилля, яке передається на силовимірвальні датчики, складе

Або у відносних одиницях при $H/h = K_3$, отримаємо

$$\delta_2 = (2K_3 f \sin \alpha) 100\%, \quad (7)$$

де f – коефіцієнт тертя у напрямних.

Загальна відносна похибка визначиться як:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

або

$$\delta = (1 - \cos \alpha + 2K_3 f \sin \alpha) 100\%. \quad (8)$$

З метою забезпечення високої точності зважування, науковцями галузевої тензометричної лабораторії Одеського національного політехнічного університету розроблений ряд конструкцій навісних кранових ваг.

Одна із зазначених конструкцій кранових ваг представлена на рис. 4 та містить гак 1, гайку 2 гака, що своєю зовнішньою різьбовою поверхнею сполучається з контргайкою 3 і запобіжною гайкою 4, а нижнім торцем спирається на упорний підшипник 5, нижнє кільце якого по посадці з натягом встановлено в циліндричній розточці на верхньому торці верхньої опорної плити 6 з виконаною на нижньому торці цієї плити кільцевий проточці, середній діаметр якої дорівнює діаметру розташування центрів тіл кочення упорного підшипника 5; розташована по посадці з натягом кінцева частина силовідної тонкої циліндричної оболонки 7 пружного елемента 8, друга силовідна тонка циліндрична оболонка 9 якого розміщена по посадці з натягом між кільцевим виступом 10, виконаним на співвісному дні з центральним отвором циліндричної розточування в нижній опорній плиті 11, і кільцем 12. На циліндричній поверхні елемента 8 розміщені тензометричні перетворювачі 13 і 14, які з'єднані з електророз'ємом 15. Верхня опорна плита 6 з'єднана з нижньою опорною плитою 11 мембранами 16 і 17, які закріплюються кільцями ущільнювача 18–21. Нижня опорна плита через цапфи 22 і 23 за допомогою щік 24 з'єднана з підвісом 25, який фіксується в щоках осеутримувача 26.

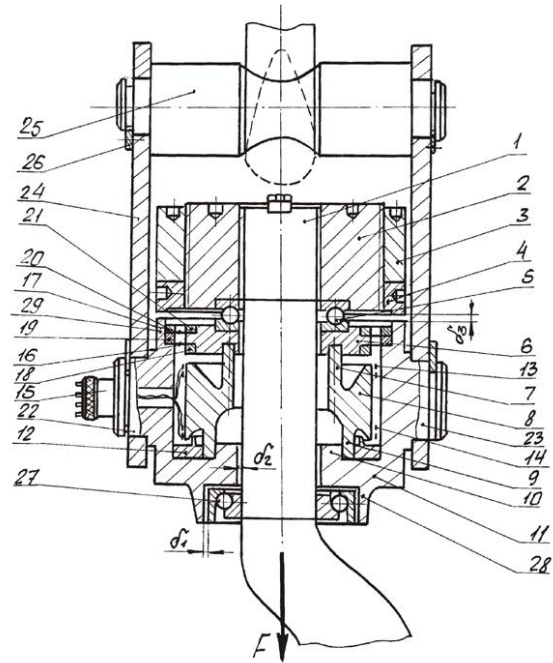


Рисунок 4 – Встановлення вагового пристрою на гак крана:

1 – гак; 2 – гайка; 3 – контргайка; 4 – запобіжна гайка; 5, 27 – упорний підшипник; 6 – опорна плита; 7, 9 – циліндрична оболонка пружного елемента; 8 – пружний елемент; 10 – кільцевий виступ; 11 – нижня опорна плита; 12, 18, 19, 20, 21, 28 – кільце; 13, 14 – тензометричні перетворювачі; 15 – електророз'єм; 16, 17 – мембрани; 22, 23 – цапфи; 24 – щоки; 25 – підвіс; 26 – осеутримувач.

На циліндричній частині хвостовика гака 1 встановлений радіальний упорний підшипник 27, між зовнішнім кільцем 8 на торці нижньої опорної плити 11, у вихідному стані є радіальний зазор b_1 , який менший за радіальний зазор b_2 , між циліндричною частиною хвостовика гака 1 і центральним отвором нижньої опорної плити 11. Між торцем запобіжної гайки 4 і торцем кільцевої опори 11 є зазор b_3 , рівний величині осьового переміщення торця верхньої опорної плити 6 при максимально допустимому навантаженні ваг.

Сила F від маси вантажу, що підіймається через різьбову частину хвостовика гака S , передається на гайку 2 гака і потім через упорний підшипник 5 і верхню опорну плиту 6 на силоводящую оболонку 7 пружного елемента 8. Далі сила F через силовідну оболонку 9 передається на нижню опорну плиту 11. Так як оболонки 7 та 9 мають різний діаметр, під дією сили F переріз кільцевої частини пружного елемента 8 повертається, при цьому перетворювачі 13 відчувають деформацію стиснення, а перетворювачі 14 – деформацію розтягування. Це дає можливість

реалізувати схему повного електричного моста і отримати високе значення робочого коефіцієнта передачі.

На підставі результатів теоретичних та експериментальних досліджень стало можливим створити кранові електронно-тензометричні ваги вантажопідйомністю до 20 тонн, які призначені для зважування вантажів, що транспортуються кранами. Ваги мають індивідуальні акумуляторні джерела живлення та індикацію маси вантажу на світловому табло. У розроблених конструкціях ваг застосовані тензорезисторні датчики сили типу ТВС з гвинтовими дротяними тензорезисторами та пружним елементом. На наш погляд, перспективним є застосування тензометричного датчика з пружним елементом у вигляді тіла обертання [13]. Кранові ваги виконані з одним тензорезисторним датчиком сили з номінальним навантаженням 2 тони, вбудованим в гакову підвіску ваг, що навішується на основний гачок крана. Датчик на опорну поверхню встановлений через набір кульок розділених сепаратором. Передача зусилля на датчик здійснена за схемою "площина-сфера". Використання такої схеми силопередачі забезпечує самовстановлюваність датчика під навантаженням і вертикальне докладання зусиль до пружного елемента датчика. Для виключення впливу поперечних сил на точність силопередачі рухома плита переміщується по напрямних, які встановлені кульки з сепараторами, що дозволяють зменшити втрати на тертя в напрямних. Підвішування ваг на гачок здійснюється за допомогою скоб.

Вимірювання сигналу датчика, перетворення його в цифровий код здійснюється приладом, розміщеним у спеціальній ніші зварного корпусу ваг. Прилад є цифровим автокомпенсатором порозрядного врівноважування з аналоговою формою обробки сигналів датчиків. На корпусі ваг закріплені елементи джерела живлення в безпосередній близькості до приладу, а також цифрове табло в місці, зручному для зчитування вагової інформації. Внутрішнє розведення кабелів між датчиком, приладом, джерелом живлення та світловим табло здійснюється за допомогою стандартних штепсельних роз'ємів. В інтервалах між роботою ваги встановлюються на спеціальній підставці для їх зберігання, виконаної у вигляді зварної конструкції, обладнаної майданчиком для обслуговування ваг. Пригнічення перешкод, викликаних динамічними явищами (коливаннями вантажу) та дією промислових перешкод (зварювання та ін.), здійснюється РС-фільтрами. Вимірювання проводиться після деякої витримки часу від початку підйому вантажу, що зважується, за рахунок чого досягається значне зменшення амплітуди коливання вимірюваного зусилля.

Проведені випробування, у яких відповідно до меж виміру для ваг, вантажопідйомністю 20 тонн, датчик з номінальним навантаженням навантажувався з інтервалом 2 тонни. До складу експериментальної установки увійшли: гакова підвіска з навісними крановими вагами та вторинна реєструвальна апаратура (рис. 5).

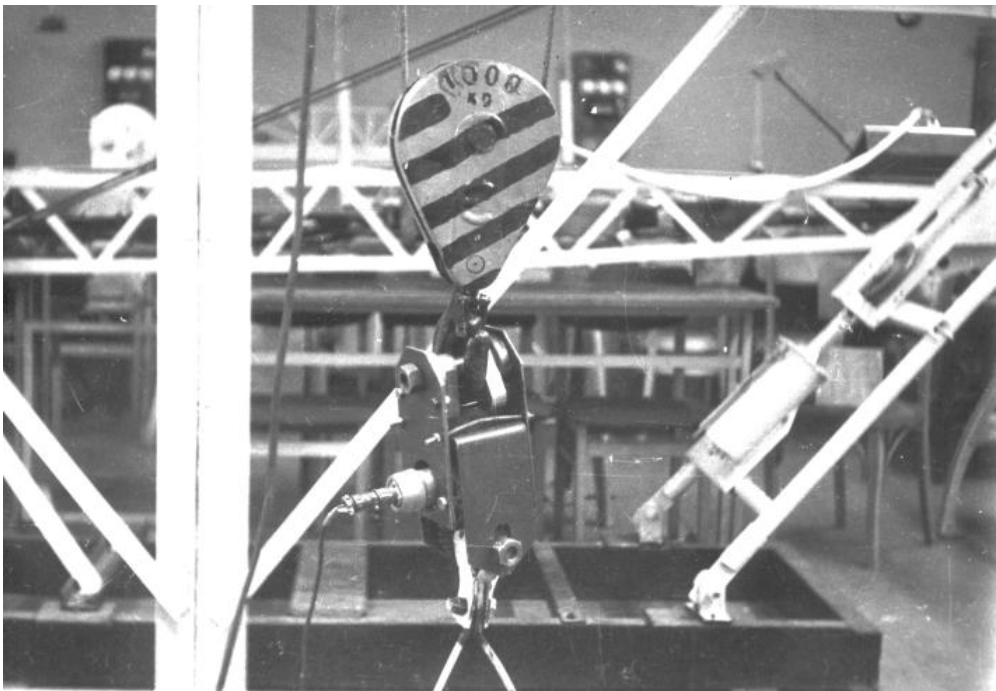


Рисунок 5 – Експериментальна установка для випробування навісних кранових ваг

Програма випробувань включала: зважування у статиці при навантаженні 20 та 2000 кг (без повороту гака) та 4 тони з поворотом гака рівномірно по колу через 6 точок; зважування в динаміці при навантаженнях 2000 та 4000 кг; зважування при розгойдуванні вантажу під час зупинки;

зважування при вертикальному підйомі; зважування піднятого вантажу при горизонтальному переміщенні вздовж цеху; зважування під час спільного підймання і горизонтального переміщення.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень процесу зважування в статиці

Навантаження, кг	Очікувані показники, кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	відносна похибка, %
20	20	20,2	20,3	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	1,05
2000	2000	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	0,15
4000	4000	4002	4002	4001	4003	4003	4003	4002	4002	4003	4003	0,06

Таблиця 2 – Результати зважування в статиці при повороті гаку через 6 точок

Кут повороту гака	Навантаження, кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	відносна похибка, %
0	4000	4003	4002	4001	4003	4003	4003	4002	4002	4003	4003	0,06
60		4006	4006	4006	4006	4006	4006	4006	4006	4005	4005	0,145
120		4007	4007	4007	4006	4007	4007	4007	4007	4007	4007	0,173
180		4006	4007	4006	4007	4006	4007	4007	4007	4006	4007	0,164
240		4007	4007	4006	4007	4007	4007	4007	4007	4007	4007	0,173
300		4005	4006	4006	4006	4006	4006	4006	4006	4006	4006	0,148

Таблиця 3 – Результати зважування в різних динамічних режимах роботи крану

Навантаження, кг	Середнє показання, кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	відносна похибка, %
1) зважування при розгойдуванні вантажу під час зупинки												
2000	2007,8	2012	2013	2010	2009	2008	2006	2006	2005	2005	2004	0,45
4000	4013,8	4015	4023	4013	4013	4012	4018	4016	4011	4010	4007	0,33
2) зважування при вертикальному підйомі вантажу												
2000	2001,5	1992	2003	2003	1998	2003	2001	2003	2004	2004	2004	0,075
4000	4010,8	4008	4013	4021	4014	4006	4007	4011	4009	4007	4012	0,27
3) зважування при вертикальному опусканні вантажу												
2000	2009,3	1995	1992	2031	2020	2020	1992	2033	2036	1985	1989	0,465
4000	4000,2	3972	4059	3984	4050	4056	3970	3985	3971	3999	3956	0,005
4) зважування при горизонтальному переміщенні вантажу												
2000	2005,2	2004	2005	2007	2006	2006	2004	2004	2005	2005	2006	0,26
4000	4004,0	4001	4003	4004	4002	4003	4004	4004	4004	4006	4009	0,095
5) зважування при вертикальному підйомі та горизонтальному переміщенні вантажу												
2000	2007,8	2012	2013	2010	2009	2008	2006	2006	2005	2005	2004	0,39
4000	4013,8	4015	4023	4013	4013	4012	4018	4016	4011	4010	4007	0,35
б) зважування при горизонтальному переміщенні вантажу з живленням приладу через струмозмінання крану												
2000	2004,9	2004	2005	2005	2004	2005	2006	2006	2004	2006	2004	0,245

Натурні випробування навісних кранових ваг проводилися в заводських умовах на мостовому крані. Попереднє налаштування та юстування апаратурного комплексу "тензорезис-торні датчики сили – вимірювальний прилад – цифрове табло" здійснювалося в лабораторних умовах шляхом відтворення навантаження до її номінального значення на зразковій силовимірювальній машині (рис. 6).

Укладання вантажів здійснювалося на спеціально виготовлені рами, маса яких попередньо визначалася на важелях з точністю 0,1 %. З такою ж точністю визначалася маса стропів, за допомогою яких рами з вантажами вшувалися

на вантажний гак вагового пристрою. Надалі ці маси враховувалися у сумарному корисному навантаженні ваг.

Чутливість ваг визначалася в трьох довільних точках робочого діапазону шляхом накладання атестованих вантажів масою, що відповідає дискретності ваг, та перевірки відповідності зміни показань приладу зміні маси вантажу.

Похибка кранових ваг визначалася абсолютними відхиленнями вимірювань і дійсної маси вантажу.

Результати метрологічних випробувань наведено у табл. 4.

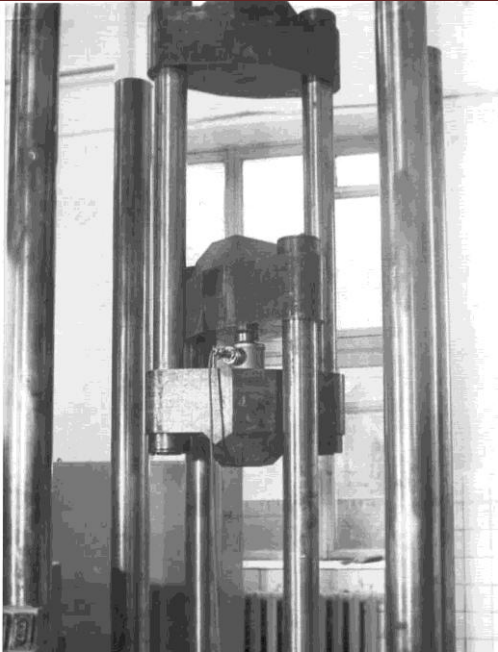


Рисунок 6 – Схема відворення навантаження на зразковій сило вимірювальній машині

Висновки. У статті досліджена проблема підвищення продуктивності, надійності та безпечної роботи важконавантажених машин за рахунок застосування високоточних і надійних запобіжних та зважу-вальних пристроїв.

Проведено аналіз похибок вимірювання маси вантажу крановими вагами при різних варіантах

влаштування силовимірювальних датчиків у конструкції вантажопідіймальних машин.

Розглянуто та досліджено конструкцію навісних кранових ваг, які реалізують варіант установки на гак або в гакову підвіску.

Результати експериментальних досліджень показують, що відносна похибка при зважуванні в статистиці знаходиться в межах допустимих похибок кранових ваг.

Натурні випробування навісних електронно-тензометричних кранових ваг показали, що при різних навантаженнях максимальна відносна похибка – 0,073% (при 30,06 т); середня похибка по всім діапазонам – 0,04%; коефіцієнт варіації у межах 0,036 – 0,13%; розкид показань малий і рівномірний (найбільший при 30,06 т). Похибка не зростає з навантаженням та немає тенденції до погіршення на максимальних вагах – це хороший показник лінійності. За найгіршим результатом (0,073 %) ваги впевнено відповідають класу точності 0,1 % із запасом приблизно 25–30 % до граничного значення.

Впровадження перспективних конструкцій навісних електронно-тензометричних кранових ваг на вітчизняних підприємствах стане можливим вивільнити транспортні засоби, такі як тепловоз та платформа, що використовуються для зважування на важельних платформних механічних вагах, а також робітників, зайнятих на всіх операціях зважування.

Таблиця 4 – Результати випробувань навісних електронно-тензометричних ваг з межею зважування 20 тон

Номер навантаження	Номер вимірювання	Маса вантажу, т			
		20,06	30,06	40,06	50,105
1	1	20,07	30,02	40,11	50,10
	2	20,08	30,01	40,10	50,09
	3	20,07	30,01	40,11	50,10
	4	20,06	30,02	40,11	50,08
	5	20,07	30,02	40,03	50,10
2	1	20,08	30,09	40,03	50,10
	2	20,05	30,09	40,03	50,10
	3	20,04	30,09	40,03	50,10
	4	20,05	30,09	40,03	50,09
	5	20,04	30,09	40,03	50,10
3	1	20,04	30,01	40,05	50,06
	2	20,04	30,00	40,04	50,05
	3	20,05	30,01	40,05	50,06
	4	20,03	30,01	40,04	50,04
	5	20,05	30,01	40,05	50,06
Середнє значення, т		20,055	30,038	40,056	50,082
Варіація, %		0,08	0,13	0,08	0,036
Відносна похибка, %		0,025	0,073	0,01	0,046

Примітки: 1. Маса стропів 60 кг та 105 кг. 2. Перед випробуванням ваги одноразово навантажувалися масою 60 т із витримкою протягом 15 хвилин.

Список використаних джерел

1. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 26.05.2004 № 687 зі змінами від 07.04.2021 р.
2. НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання», затверджений наказом Міністерства соціальної політики України від 19.01.2018 № 62.
3. Коломієць Л. В. Захист важкоавантажених машин від перевантаження. Одеса: Бахва, 2000. 48 с.
4. Що таке пристрої захисту крана від перевантаження. URL: <http://ua.bridgecranemanager.com/info/what-are-the-crane-overload-protection-devices-66675400.html> (дата звернення: 01.11.2025).
5. Коломієць Л. В., Цимбалюк А. Г., Цимбалюк Д. А. Методика розрахунку параметрів напружено-деформованого стану плит кранових ваг. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*. 2021. Вип. 2(19). С. 17–29. <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2021-2-19-17-29>.
6. Коломієць Л. В., Цимбалюк А. Г., Цимбалюк Д. А. Підвищення точності металургійних кранових ваг. Збірка тез 16-ї міжнародної науково-практичної конференції “Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2023)”, Київ, НАУ, 23-24.05.2023. С. 133–135.
7. Семенюк В. Ф., Лингур В. Н., Критико И. А. Определение погрешностей измерения массы поднимаемого груза при установке датчика силы в крюковую подвеску. Влияние места установки датчика силы на точность защиты мостовых кранов от перегрузки. *Подъемно-транспортная техника*. № 2 (58), 2018. С. 18–24.
8. Коломієць Л. В., Лимаренко О. М., Передерко А. Л. Система захисту автомобільного крану. Збірка тез 16-ї міжнародної науково-практичної конференції “Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2023)”, Київ, НАУ, 23-24.05.2023. С. 131-133.
9. Коломієць Л. В., Лимаренко О. М., Передерко А. Л., Цимбалюк Д. А. Дослідження конструкцій запобіжних пристроїв підйомних машин. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*. 2024. Вип. 1(24). С. 28–39. <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2024-1-24-28-39>.
10. Семенюк В. Ф., Лингур В. Н. Механотензометрическая система обеспечения надежности защиты мостовых металлургических кранов от

перегрузки. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 7. С. 169–174.

11. Патент № 26253 України, МКІ В66С 23/88. Обмежувач вантажопідйомності крана / Л. В. Коломієць. № 93101028; Заявл. 23.12.92; Опубл. 19. 07.99; Бюл. № 4. 4 с.

12. А.с. 1671603 СССР, МКІ В66С 15/00. Ограничитель грузоподъемности крана / Л. В. Коломиец, А. Н. Яковуник, В. Ф. Семенюк (СССР) № 4724235/11; Заявл. 27.07.89; Опубл. 23.08.91; Бюл. № 31. С. 2.

13. Коломієць Л. В., Лимаренко О. М., Цимбалюк Д. А., Якимович В. В. Дослідження напружено-деформованого стану пружних елементів у вигляді тіла обертання Збірка тез 17-ї міжнародної науково-практичної конференції “Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2024)”, Київ, НАУ, 21-22 травня 2024 р. 514 с. (збірка тез). С. 204–206.

References

1. Poriadok provedennia ohliadu, vyprobuvannia ta ekspertnoho obstezhennia (tekhnichnoho diahnostuvannia) mashyn, mekhanizmv, ustatkuvannia pidvyshchenoi nebezpeky, zatverdzhenyi postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 26.05.2004 # 687 zi zminamy vid 07.04.2021 r.
2. NPAOP 0.00-1.80-18 «Pravyla okhorony pratsi pid chas ekspluatatsii vantazhopidiimalnykh kraniv, pidiimalnykh prystroiv i vidpovidnoho obladnannia», zatverdzhenyi nakazom Ministerstva sotsialnoi polityky Ukrainy vid 19.01.2018 # 62.
3. Kolomiets L. V. Zakhyst vazhkonavantzhenykh mashyn vid perevantazhennia. Odesa: Bakhva, 2000. 48 s.
4. Shcho take prystroi zakhystu kрана vid perevantazhennia. URL: <http://ua.bridgecranemanager.com/info/what-are-the-crane-overload-protection-devices-66675400.html> (data zvernennya: 01.11.2025).
5. Kolomiets L. V., Tsymbaliuk A. H., Tsymbaliuk D. A. Metodyka rozrakhunku parametriv napruzhenodeformovanoho stanu plyt kranovykh vah. *Zbirnik naukovih prac' Odes'koi derzhavnoi akademii tehnicznego reguluvannâ ta âkosti*. 2021. Vyp. 2(19). S. 17–29. <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2021-2-19-17-29>.
7. Kolomiets L. V., Tsymbaliuk A. H., Tsymbaliuk D. A. Pidvyshchennia tochnosti metalurhiinykh kranovykh vah. *Zbirka tez 16-yi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Intehrovani intelektualni robototekhnichni komplekxy (IIRTK-2023)”*, Kyiv, NAU, 23-24.05.2023. S. 133–135.
8. Semenyuk V. F., Lingur V. N., Kritiko I. A. Opredelenie pogreshnostej izmereniya massy podnimaemogo gruzâ pri ustanovke datchi-ka sily v kryu-

kovuyu podvesku. Vliyanie mesta ustanovki datchika sily na tochnost' zashhity mostovykh kranov ot peregruzki. *Pod'emno-transportnaya tekhnika*. № 2 (58), 2018. S. 18–24.

9. Kolomiets L. V., Lymarenko O. M., Pere-derko A. L. Systema zakhystu avtomobilnoho kranu. Zbirka tez 16-yi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Intehrovani intelektua-lni robototekhnichni komplekxy (IIRTK-2023)”, Kyiv, NAU, 23-24.05.2023. S. 131-133.

10. Kolomiets L. V., Lymarenko O. M., Perederko A. L., Tymbaliuk D. A.. Doslidzhennia konstruktсии zapobizhnykh prystroiv pidiomnykh mashyn. Zbirnyk naukovykh prats Odeskoi derzhavnoi akademii tekhnichnoho rehuliuвання ta yakosti. 2024. Vyp. 1(24). S. 28–39. <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2024-1-24-28-39>.

11. Semenyuk V. F., Lingur V. N. Mexano-tenzometricheskaya sistema obespecheniya nadezhnosti zashhity mostovykh metallurgicheskikh kranov ot

peregruzki. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2018. № 7. S. 169–174.

12. Patent № 26253 Ukrainy, MKI V66S 23/88. Obmezhuвач vantazhopidionnosti kрана / L. V. Kolomiiets. № 93101028; Zaiavl. 23.12.92; Opubl. 19. 07.99; Biul. № 4. 4 s.

13. A.s. 1671603 SSSR, MKI V66S 15/00. Ogranichitel' gruzopod"emnosti kрана / L. V. Kolomic, A. N. Yakovunik, V. F. Semenyuk (SSSR) № 4724235/11; Zayavl. 27.07.89; Opubl. 23.08.91; Byul. № 31. S. 2.

14. Kolomiiets L. V., Lymarenko O. M., Tsymbaliuk D. A., Yakymovych V. V. Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu pruzhnykh elemen-tiv u vyhliadi tila obertannia Zbirka tez 17-yi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Intehrovani intelektualni robototekhnichni komplek-sy (IIRTK-2024)”, Kyiv, NAU, 21-22 travnia 2024 r. 514 s. (zbirka tez). S. 204–206.

Надійшла до редакції 19.11.2025

UDC 623.85/623.826

K. F. Boriak, DSc, O. A. Ihnatenko

Institute of Naval Forces under Odessa Maritime Academy (with Conferred Status of National University)

TESTING A NEW EXPRESS METHOD FOR PROMPT EVALUATION OF THE CURRENT TECHNICAL STATE OF SHIPBOARD DIESEL ENGINES PRODUCED BY CUMMINS INC

This article presents the results of testing a new express method for prompt evaluation of the current technical state of main shipboard diesel engine produced by Cummins Inc. using current information through standard on-board instruments. This new express method was successfully tested on shipboard diesel engines produced by Caterpillar Inc. during our previous research. Within a recent full-scale experiment to test our express method on Cummins ReCon QSB5.9 diesel engine in the time interval from the 4th to the 11th minute in the starting heating-up mode, positive results were obtained, which confirm the full acceptability of the method during the starting heating-up mode (at no load) in relation to diagnosing various types of diesel engines (produced by different manufacturers) based on two determining parameters: the rate of change of oil pressure in the lubricating and the rate of change of coolant temperature in the cooling system. These two parameters clearly determine the technical state of engine as serviceable or requiring unscheduled maintenance.

The researches being conducted by us are aimed at the improvement of the existing maintenance and repair system for shipboard diesel engines produced by various manufacturers. The results confirm the practical suitability and effectiveness of the proposed new express method, which ensures the timely detection of signs of degradation processes, resulting in increased operational reliability, durability, and survivability of shipboard powerplants. The universality of the new express method is confirmed by the fact that the rates of change of the determining parameters are key indicators, regardless of the diesel engine type, its dimensions, or the design features of the cooling and lubrication systems. This enables one to integrate the method into the routine procedures of tending on small ships and boats equipped with Cummins ReCon QSB5.9 and Caterpillar C18 ACERT diesel engines.

Keywords: *express method; shipboard diesel engine; determining parameters; heating-up mode; current values; on-board instruments; technical state of engine.*