

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.31319/2519-2884.47.2025.6

УДК 621.874.7

Kabakov Daniil¹, Candidate of Technical Sciences, Doctoral Candidate

Kabakov Anatolii², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Department of Industrial Engineering

¹ Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro

² Dniprovs'kyi State Technical University, Kamianske

Кабаков Д.Ю.¹, к.т.н., докторант, ORCID: 0009-0005-6456-0968, e-mail: megafab@live.com

Кабаков А.М.², к.т.н., доцент, ORCID: 0009-0008-3948-8687, e-mail: kabakovanatoly@gmail.com

¹ Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

² Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

DEVICE FOR DETERMINING THE MASS OF THE LOAD LIFTED BY A CRANE

The work is devoted to the study of a device for determining the mass of a load lifted by a crane, as well as a functionally expanded digital-analog control system that ensures the optimization of the damped oscillation process. It provides a high level of safety and crane performance due to the functional combination achieved through synergistic and real-time determination of control parameters. A control system has been developed that operates automatically according to its own algorithms. It ensures the optimization of damped oscillation processes in other elements. It has been established that the use of dampers made it possible to increase the productivity of the crane without increasing its load capacity and to improve its stability.

Keywords: load capacity limiter; crane; mass; lifting mechanism; displacement sensor; optimization.

Робота присвячена дослідження пристрою для визначення маси вантажу, що піднімається краном, а також функціонально розширеної цифро-аналогової системи управління, яка забезпечує оптимізацію процесу демпфованих коливань. Вона має рівень безпеки та продуктивності роботи крана завдяки функціональному поєднанню за рахунок синергетичного та оперативного визначення контролюючих показників. Розроблена система управління, яка працює в автоматичному режимі за власними алгоритмами. Вона забезпечує оптимізацію процесів демпфованих коливань в інших елементах. Встановлено, що застосування демпферів дозволило збільшити продуктивність роботи крана без збільшення вантажопідйомності, підвищити стійкість крана.

Ключові слова: обмежувач вантажопідйомності; кран; маса; махові коливання; демпфери переміщень; оптимізація.

Problem's Formulation

The development of devices for determining the mass of a load lifted by a crane includes a mass sensor, memory block, and digital displacement meter. Identifying the parameters that most significantly affect the reliability and accuracy of the device is one of the most important problems, the solution of which largely determines the reliability of the crane's operation. This allows us to pose the following problems:

1. Development of digital displacement meters for the elastic element of the mass sensor.
2. Development of a block for determining the direction of displacement of the elastic element of the mass sensor.
3. Investigation of the emitter indexing block.

Analysis of recent research and publications

Along with ensuring the reliability of lifting and transport machines by reducing dynamic loads in non-stationary modes, an important task is to increase functional efficiency by combining operations for transporting goods with determining their mass. A general analysis of the current state of problems [1–4] is noteworthy. Works [5, 6] investigated the features of automatic control of damping device parameters based on system elements of analog technology, in conjunction with the functions of a load capacity limiter and a weighing device.

Formulation of the study purpose

The above studies confirm the relevance of issues related to the development of devices for determining the mass of a load lifted by a crane and increasing the level of safety and productivity of crane operation.

The goal of this article is to develop devices for determining the mass of a load lifted by a crane, which ensures an increase in crane productivity and improves the strength of crane elements.

Presenting main material

On Fig. 1 shows a functional diagram of a device for determining the mass of a load lifted by a crane; in Fig. 2 — a functional diagram of a digital displacement meter; in Fig. 3 — a functional diagram of the block for determining the direction of displacement of the elastic element.

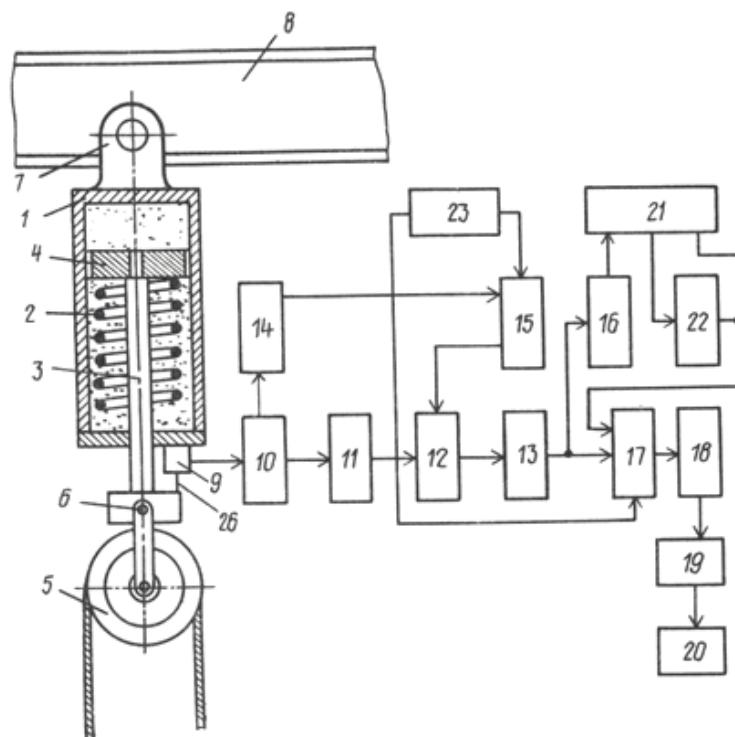


Fig. 1. Functional diagram of a device for determining the mass of a load lifted by a crane

The device for determining the mass of a load lifted by a crane [8] contains a body 1, inside which an elastic element 2 of the mass sensor is placed. A rod 3 passes through a hole in the body 1, the washer 4 of which rests on element 2, and the rod 3 itself carries a cage 5 of fixed pulley blocks, which is suspended by means of a hinge 6. The body 1 is suspended by a bracket 7 from the frame of the cargo trolley 8. The body of the digital displacement meter 9 of the elastic element 2 is rigidly attached to the body 1. The output of block 10 for determining the direction of displacement of the elastic element 2 is connected to a reversible counter 11, the output of which is connected to a register 13 via a key 12. The output of block 10 is also connected to a delay element 14, the output of which is connected to the control input of key 12 via a key 15. The output of register 13 is connected to the input of register 16 and via key 17 to memory block 18. The output of the latter is connected to indica-

tor block 20 via a decoder 19. The output of register 16 is connected to one of the inputs of adder 21, the output of which is connected to the input of register 22. The output of the latter is connected to the control input of key 17. Control commands are formed in control block 23.

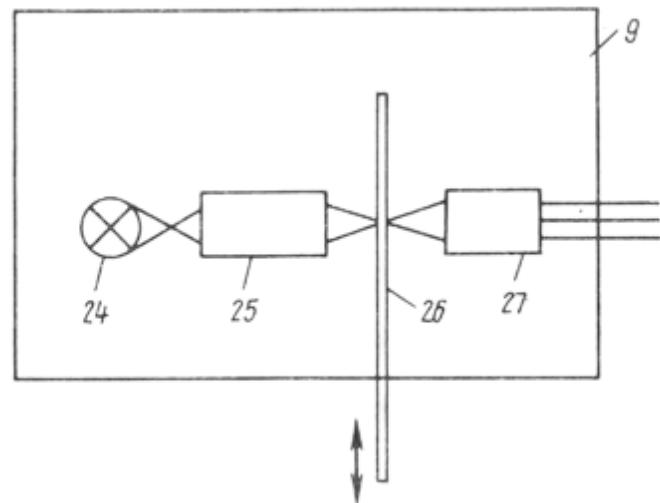


Fig. 2. Functional diagram of a digital displacement meter

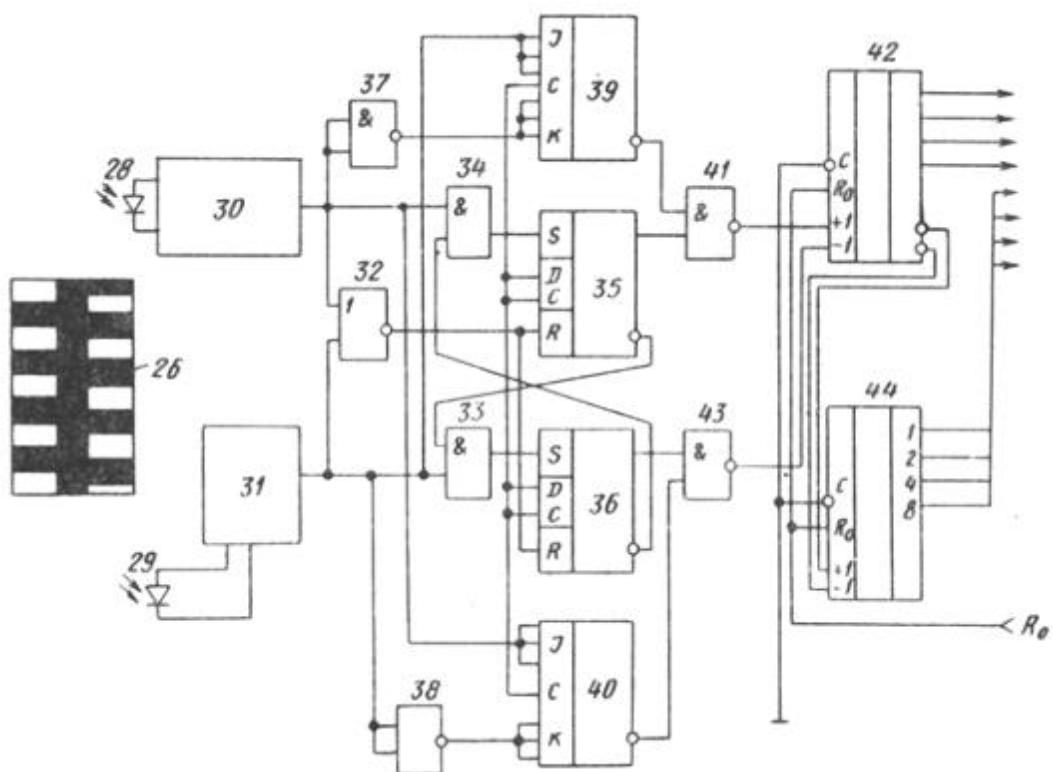


Fig. 3. Functional diagram of the block for determining the direction of displacement of the elastic element

The meter 9 contains an emitter 24, an optical system 25, a linear modulator 26, which is mechanically connected to the rod 3. The photodetector block 27 contains photodiodes 28 and 29.

Block 10 contains amplifiers 30 and 31, whose outputs are connected to the inputs of triggers 35 and 36 via logic elements 32-34, and to the inputs of triggers 39 and 40 via logic elements 37 and 38. The outputs of triggers 35 and 39 are connected to the summing input of reversible counter 42 via coincidence circuit 41, and the outputs of triggers 36 and 40 are connected to the subtracting input of counter 42 via coincidence circuit 43. The latter is connected in series with counter 44 to increase the bit depth of the device.

The device for determining the mass of a load lifted by a crane operates as follows.

In the initial position without a load, the rod 3 and modulator 26 are in the upper position. When the load is lifted, the elastic element 2 is compressed and the modulator 26 moves, while modulated light flux is formed on photodiodes 28 and 29. When the modulator 26 moves down, photodiode 28 is illuminated first, and when moving up, photodiode 29. The signals from the photodiodes are amplified and shaped by amplifiers 30 and 31. When the load increases, photodiode 28 sets a logic one signal on one input of element 34, and a logic one signal is set on the other input from the inverting output of trigger 36. At the outputs of element 34, the signal is a logic one and sets a logic zero signal at the inverting output of trigger 39, preventing the signal from passing through element 33, thereby inhibiting the activation of trigger 36. At the inputs of element 41, the signals are logic one, while the signal at its output is logic zero, which is a command to write information to reversible counter 42. In the next clock cycle, a logic one signal appears at the input of trigger 35 when both photodiodes 28 and 29 are illuminated, which leads to the setting of a logic zero signal at the input of element 41, at the output of which a logic one signal is set. When modulator 26 moves one cycle, two bits of information are written to counter 42, which increases the accuracy of measuring the displacement of rod 3.

After the damping of the oscillatory process of the elastic element 2, a parallel binary code corresponding to the static displacement of the rod 3 under the action of the load mass is set in counters 42 and 44. Element 14 passes the code to register 13 after the completion of the oscillatory process of the elastic element 2. By command of key 15, the recorded code is written to register 13 via key 12, with simultaneous writing to register 16 and feeding to memory block 18 via key 17. To obtain information about the load mass, calculations must be performed.

$$m = CX/g,$$

where m — mass of the lifted load; C — stiffness of elastic element 2; X — displacement of rod 3 under the action of the load; g — acceleration of free fall.

The implementation of the specified algorithm is possible by means of a microprocessor or memory block 18, in which the values of the load mass are recorded, corresponding to a discrete set of compression of the elastic element 2. Information about the load mass is sent to indicator block 20 and can be taken into account by the operator or automatically transferred to register 22, where the total value of the load mass lifted by the crane is formed by means of adder 21.

Thus, the proposed device allows for accounting for the total mass of the lifted load over a controlled period of time. The presence of a digital displacement sensor, as well as a block for delaying the conversion of the primary code for the duration of dynamic loads in the hoist ropes, allows for accurately weighing the load lifted by the crane. The use of a digital code significantly increases the reliability of the device's operation, as it eliminates the need for amplification and conversion of analog signals, which are susceptible to various types of interference.

Conclusions

1. A device for accurate determination of the mass of a crane-lifted load has been developed and investigated, addressing the issue of instability and inaccuracy in existing systems that are dependent on temperature fluctuations and dynamic loads.
2. A functionally expanded digital-analog control system has been proposed, which ensures the optimization of the damped oscillation process and enhances both the safety and productivity of crane operation.
3. The implementation of a digital displacement sensor and a data processing delay unit allows for precise measurement of load mass, minimizing the impact of dynamic loads and interference.

References

- [1] Ivanchenko F.K. (2008). Pidiomno-transportni mashyny: Navchalnyi posibnyk. [Lifting and transport machines: textbook]. Kyiv: Vyshcha shkola, 413 p. [in Ukrainian].
- [2] Bondariev O.I. et al. (2009). Pidiomno-transportni mashyny: Rozrakhunki pidimalno-transportuvalnykh mashyn. [Lifting and transport machines: Calculations of lifting and transporting machines]. Kyiv: Vyshcha shkola, 734 p. [in Ukrainian].
- [3] Hryhorov O.V., Okun A.O. (2017). Udoskonalennia matematychnoi modeli rukhu dlia zadachi keruvannia pidiomno-transportnymy mashynamy. [Improvement of the mathematical model of movement for the problem of control of lifting and transport machines]. Avtomobilnyi transport, Kyiv, 127 p. [in Ukrainian].
- [4] Ohurtsov A.P. et al. (2002). Diahnostyka, dynamika, nadiinist pidiomno-transportnykh system. [Diagnostics, dynamics, reliability of lifting and transport systems]. Dnipropetrovsk: Systemni tekhnolohii, 368 p. [in Ukrainian].
- [5] Kabakov A.M., Telipko L.P. (2024). Matematychnye modeliuvannia krana z vantazhem i kerovanymy prystroiamy vibrozakhystu. [Mathematical modeling of a crane with a load and controlled vibration protection devices]. European congress of scientific achievements. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference. Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain, pp. 91–98. [in Ukrainian].
- [6] Doslidzhennia dynamiky, mitsnosti i tekhnolohichnosti mekhanichnykh system. [Research on dynamics, strength, and manufacturability of mechanical systems]. (2017). Monograph. Kamianske: DDTU, 182 p. [in Ukrainian].

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ВАНТАЖУ, ЩО ПІДНІМАЄТЬСЯ КРАНОМ

Реферат

Під час роботи мостових кранів, обладнаних вантажними електромагнітами, на відвантаженні готової продукції, що не мають пристройів для вимірювання маси вантажу, який піднімається краном, та де, для визначення маси відвантажуваної готової продукції, состави переганяють на спеціальні вагонні ваги. Це призводить до додаткових простойв вагонів у зв'язку з недовантаженням, повторною подачею вагонів у район навантаження. Тому на деяких кранах встановлені пристройі для вимірювання маси вантажу, що піднімається краном. Вони мають той недолік, що не забезпечують необхідної точності та надійності в роботі через нестабільність показань силовимірних датчиків, вихідний сигнал яких залежить від температури навколошнього середовища [1]. У цих пристроях реєструються, поряд з вантажем, що піднімається, ще й динамічні додатки при підйомі вантажів.

У статті розроблено пристрій для визначення маси вантажу, що піднімається краном, а також схему управління механізмом підйому автоматичного обмежувача вантажопідйомності, що перешкоджає взяттю вантажу надмірно великої маси.

Система корекції динаміки крана складається з керованого демпфуючого пристроя, цифрового датчика переміщення, цифро-аналогового блоку управління демпфером, цифрового блоку обмеження вантажопідйомності та цифрового блоку визначення маси перевантаженого вантажу. Представлена цифро-аналогова система управління забезпечує оптимізацію процесу демпфування коливань, підвищує рівень безпеки та продуктивності роботи крана завдяки функціональному поєднанню захисту від перевантажень та операції визначення маси вантажу.

Запропонований пристрій дозволяє враховувати сумарне значення піднімається вантажу та точно його зважувати.

Література

1. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. К.: Вища школа, 2008, 413 с.
2. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймально-транспортувальних машин / Бондарев О.І. та ін. К.: Вища школа, 2009, 734 с.

3. Григоров О.В., Окунь А.О. Удосконалення математичної моделі руху. Автомобільний транспорт для задачі керування підйомно-транспортних машин. К. 2017, 127 с.
4. Огурцов А.П. та інші. Діагностика, динаміка, надійність підйомно-транспортних систем. Дніпропетровськ: Системні технології, 2002, 368 с.
5. Кабаков А.М., Теліпко Л.П. Математичне моделювання крана з вантажем і керованими пристроями віброзахисту // European congress of scientific achievements. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2024. pp 91–98.
6. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем. Монографія, Кам'янське, ДДТУ, 2017, 182 с.

*Надійшла до редколегії 17.05.2025
Прийнята після рецензування 20.10.25
Опублікована 23.10.2025*