

Ольга Анатоліївна СВІРГУН

кандидат технічних наук, доцент кафедри надійності та міцності машин і споруд
ім. В. Я. Аніловича Державного біотехнологічного університету
ORCID ID: 0000-0001-6069-8269

Григорій Олександрович ГНАТЕНКО

кандидат технічних наук, доцент кафедри підйомно-транспортних машин і обладнання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0002-5450-375X

Валентин Володимирович СВІРГУН

аспірант кафедри мехатроніки та деталей машин
Державного біотехнологічного університету
ORCID: 0000-0002-3024-3252

Володимир Петрович СВІРГУН

кандидат технічних наук, професор кафедри підйомно-транспортних машин і обладнання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-5413-9428

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГОЛОВНОЇ БАЛКИ
МОСТОВОГО КРАНУ ТА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ**

Свіргун О. А., Гнатенко Г. О., Свіргун В. В., Свіргун В. П. Дослідження напружено-деформованого стану головної балки мостового крану та вибір раціонального перерізу. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2021. Том 6. № 4. С. 273 – 279.

Анотація

В роботі були проведені дослідження напружено-деформованого стану головної балки однобалочного крану за допомогою скінчено-елементного аналізу. Велику частку механізації різних виробничих процесів становлять підйомно-транспортні машини. Мостові крани є основним вантажопідйомним устаткуванням виробничих цехів. Однобалочні крани знаходять широке застосування на всіх ділянках цехів: у машинному залі, на складі готової продукції. Застосування кранового обладнання, його безвідмовна робота визначає ефективність сучасного виробництва та продуктивність підприємства. Зниження ваги крана, його собівартості при збереженні та навіть покращенні технічних характеристик є нагальною вимогою часу. Проектування та оптимізація сучасних металоконструкцій кранів – складна задача, яка вимагає використання чисельного моделювання. Для аналізу виникаючих напружень та переміщень в Autodesk Inventor 2018 була побудована 3D модель головної балки однобалочного підвісного крана вантажопідйомністю 2 тони з прольотом 6 метрів. Матеріал головної балки крана – сталь Ст09Г2С. В дослідженні розроблена скінчено-елементна модель металоконструкції мостового підвісного однобалочного крана і зроблений скінчено-елементний статичний аналіз для того, щоб визначити напружено-деформований стан металевої конструкції в найбільш завантаженому стані. Були задані граничні умови по закріпленню балки та навантаження з урахуванням власної ваги балки та ваги електроталі. Був проаналізований розподіл напружень та переміщень вздовж всієї довжини балки. З метою зниження ваги крана були проаналізовані чотири варіанта металоконструкції: базовий та три зі зменшеною вагою. Після аналізу напружено-деформованого стану був запропонований найбільш оптимальний варіант. Також були визначені перспективи для розвитку подальшого вивчення цієї проблеми.

Ключові слова: балка, напруження, деформація, скінчено-елементний аналіз.

Olha SVIRGUN

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, V. Anilovich Department of Reliability and Durability of Machines and Structures, State Biotechnological University

Grygoriy GNATENKO

PhD in Technical Sciences, Associate Professor, the Department of Lifting and Transport Machines and Equipment, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Valentyn SVIRGUN

Postgraduate Student, the Department of Mechatronics and Machine Parts, State Biotechnological University

Volodimir SVIRGUN

PhD in Technical Sciences, Professor, the Department of Lifting and Transport Machines and Equipment, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

STRESS-DEFORMED STATE RESEARCH OF THE MAIN GIRDER IN THE SINGLE-GIRDER CRANE AND SELECTION OF A RATIONAL SECTION

Svirgun O., Gnatenko G., Svirgun V., Svirgun V. Stress-deformed state research of the main girder in the single-girder crane and selection of a rational section. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2021. Volume 6. № 4, pp. 273 – 279.

Abstract

The paper studies of the stress-strain state of the main girder of a single-girder crane were carried out using finite element analysis. A large share of the mechanization of various production processes is made up of lifting and transporting machines. Overhead cranes are the main lifting equipment of production shops. Single-beam cranes are widely used in all parts of workshops: in the machine room, in the warehouse of finished products. The use of crane equipment, its trouble-free operation determines the efficiency of modern production and the productivity of the enterprise. Reducing the weight of the crane, its cost price while maintaining and even improving the technical characteristics is an urgent requirement of the time. The design and optimization of modern metal constructions of cranes is a complex task that requires the use of numerical modeling. To analyze the resulting stresses and movements in Autodesk Inventor 2018, a 3D model of the main girder of a single-girder overhead crane with a load capacity of 2 tons and a span of 6 meters was built. The material of the main beam of the crane is CT09Г2С steel. In the study, a finite-element model of the metal structure of a bridge suspended single-girder crane was developed and a finite-element static analysis was made in order to determine the stress-strain state of the metal structure in the most loaded state. Boundary conditions for fixing the beam and the load were set, taking into account the own weight of the beam and the weight of the electric hoist. The distribution of stresses and displacements along the entire length of the beam was analyzed. In order to reduce the weight of the crane, four versions of the metal structure were analyzed: basic and three with reduced weight. After the analysis of the stressed-strained state, the most optimal option was proposed. Prospects for the development of further study of this problem were also identified.

Keywords: beam, stress, deformation, finite element analysis.

Вступ

В машинобудуванні України продовжує зростати потреба в вантажопідйомному обладнанні. Це пояснюється тим, що більшу частку механізації різних виробничих процесів становлять підйомно-транспортні машини. Різноманітні типи підйомно-транспортних машин і механізмів забезпечують вантажно-розвантажувальні операції на складах, технологічні й автоматизовані лінії, міжцеховий і цеховий транспорт. Вони надійно забезпечують безперервність і ритмічність виробничих процесів. Застосування кранового обладнання, його безвідмовна робота визначає ефективність сучасного виробництва та продуктивність підприємства. Мостові крани широко використовуються у сучасному виробництві. Вони є найбільш розповсюдженим і універсальним засобом підйому і переміщення різних вантажів. Однобалкові крани знаходять застосування на всіх ділянках цехів: в машинному залі, на складі готової продукції.

Кран-балка з електроталлю значно легша і дешевша за мостові прольотні крани і, водночас, їх вантажопідйомність сягає 3-5 т, що в більшості випадків достатньо для

ISSN 2415-8453. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2021 рік. Том 6. № 4.

проведення вантажно-розвантажувальних робіт [1, 2, 3]. Наукові дослідження метало-конструкцій мостових кранів виконуються в наступних напрямках: вдосконалення методів розрахунку з метою зниження їх металомісткості, підвищення надійності і довговічності окремих елементів і вузлів.

Зниження ваги крана, його собівартості при збереженні та навіть покращенні технічних характеристик є нагальною вимогою часу. Вирішення цієї задачі привели до впровадження різноманітних профілів балки, наприклад, коробчасті конструкції, замкнені трубчасті профілі [4, 5].

Проектування та оптимізація сучасних металоконструкцій кранів – складна задача, яка вимагає використання чисельного моделювання. Одним з найбільш відомих сучасних чисельних методів, який широко використовується при дослідженні, є метод скінчених елементів. Аналіз напружено-деформованого стану металоконструкції крана методом скінчених елементів розглянуто в роботах [3-9].

За допомогою чисельного моделювання методом скінчених елементів, яке реалізується в програмних комплексах, таких як ANSYS WORKBENCH, SolidWorks Simulation та інших, скорочується час та витрати на проектування та оптимізацію конструкції.

Формулювання цілей статті

Метою дослідження є аналіз напружено-деформованого стану головної балки мостового однобалочного та оптимізація двотавру головної балки однобалочного крану.

Виклад основного матеріалу

Однією з найважливіших характеристик для мостових вантажопідйомних кранів є міцність. Правильний розрахунок міцності – запорука промислової безпеки та високої продуктивності крана. Ризик виникнення аварійної ситуації набагато менше в тому випадку, коли всі задані параметри вантажопідйомності відповідають дійсності. Тому так важливо не тільки вчасно проводити статичні і динамічні випробування обладнання, а й від самого початку правильно розрахувати всі навантаження.

Балки розраховуються на міцність і жорсткість. Майже всі розрахунки кранів, за винятком будівельних баштових кранів і підкранових балок, ведуться за допустимим напруженням. Розрахунок на жорсткість в умовах статичного навантаження зводиться до визначення відносного прогину від дії рухомого навантаження, наприклад, візка з вантажем. Величина прогину не повинна перевищувати допустимих за нормами проектування значень.

Досліджувався підвісний однобалочний кран вантажопідйомністю 2 т. Проліт крана 6 м. Матеріал головної балки – низьколегована конструкційна сталь Ст09Г2С. Механічні характеристики: $\sigma_{0,2} = 300$ МПа, $\sigma_B = 460$ МПа.

Розглядається самий «найгірший» випадок для конструкції, це момент коли таль починає підйом вантажу, вантаж розташовано посередині між опорами (рис. 2).

Монорельсову колію виконують з двотаврових балок № 18М, 24М, 30М, 36М і 45М згідно ДСТУ.

Після розрахунку крана і розгляду типових рекомендацій по двотавру для крана цієї групи був обраний двотавр 36М, який має в поперечному перерізі розміри (рис. 3): $b = 130$ мм, $d = 9,5$ мм, $W_x = 850$ см³, $a = 60,25$ мм, $t_k = 21$ мм.

В пакеті Autodesk Inventor була розроблена 3D модель головної балки мостового однобалочного крана (рис. 4).

Для балки, яка виготовлена з двотавра № 36М, був зроблений розрахунок напружено-деформованого стану (рис. 5, 6, 7).

Допустимий прогин двотавра головної балки:

$$[f_{cm}] = \frac{S}{400} = \frac{6000}{400} = 15_{мм}$$



Рис. 1. Підвісний однобалочний мостовий кран

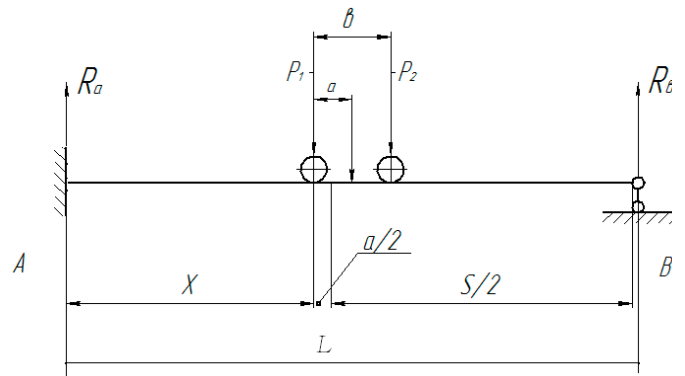


Рис. 2. Розрахункова схема головної балки

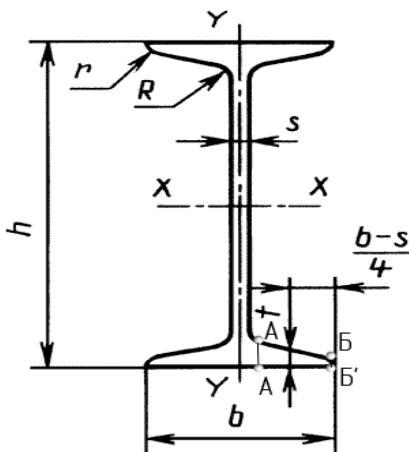


Рис. 3. Схема балки

Результат розрахунків показав, що для двотавра головної балки маємо шестикратний запас міцності. Такий великий запас міцності свідчить про надмірну матеріалоемність конструкції. Тому було прийнято рішення зменшити профіль до № 24М.

В результаті дослідження з'ясувалося, що двотавр № 24М так само має зайвий запас міцності, але вибрати ще менший номер двотавра не є можливим, тому що діаметр коліс механізму пересування талі 17,5 см.

В зв'язку з цим було вирішено зробити нижню половину балки двотавром № 24М, а верхню половину – № 18 (рис. 10). Таким чином отримуємо більш економну, компактну конструкцію, яка відповідає вимогам міцності та жорсткості.

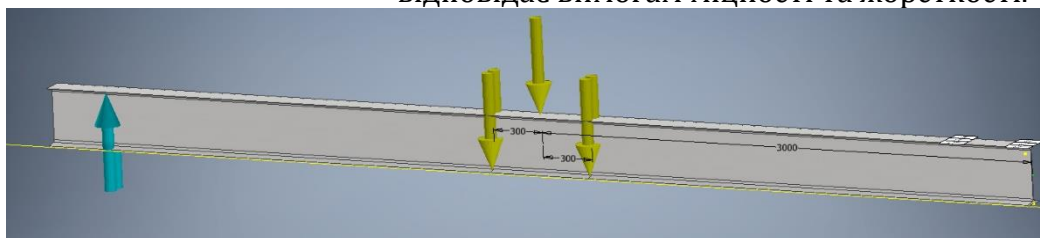


Рис. 4. Розрахункова модель двотаврової головної балки крана

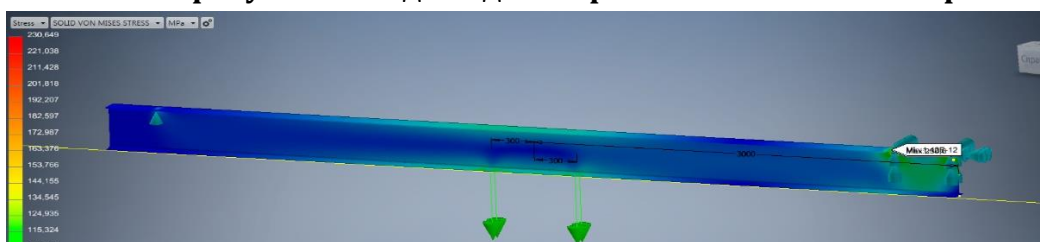


Рис. 5. Напруження по Мизесу для двотавра № 36М

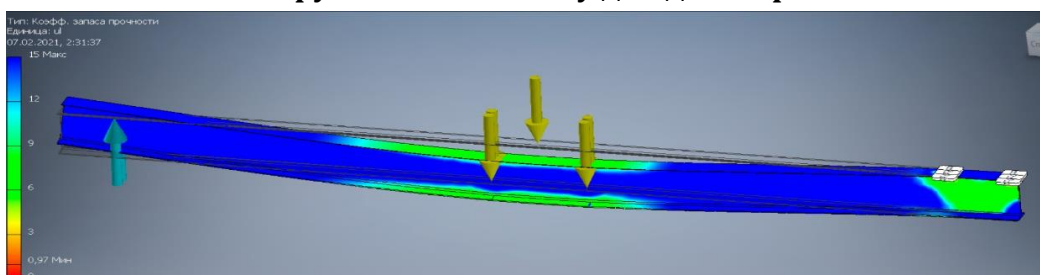


Рис. 6. Коефіцієнт запасу міцності двотавра № 36М

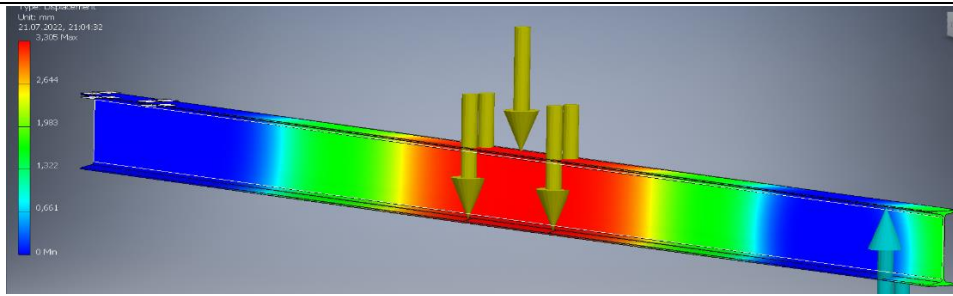


Рис. 7. Прогин двотавра № 36М

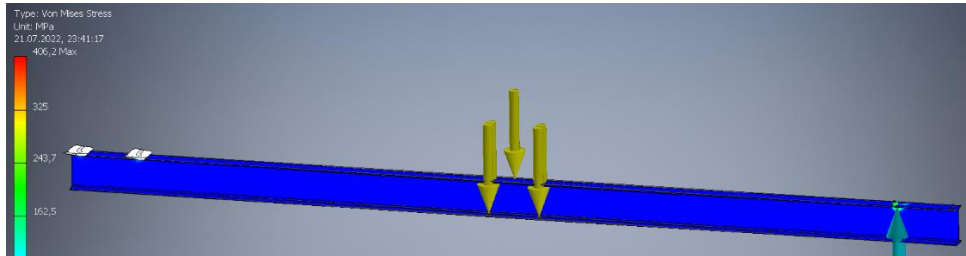


Рис. 8. Напруження по Мизесу для двотавра № 24М

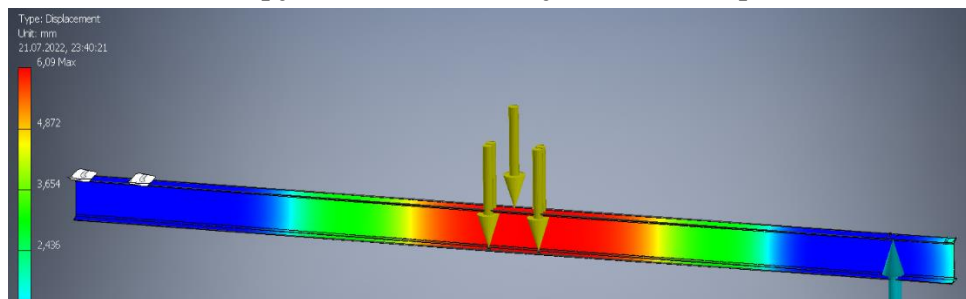


Рис. 9. Прогин двотавра № 24М

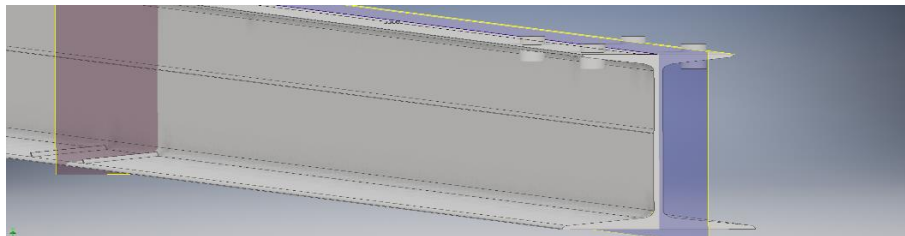


Рис. 10. Комбінована балка

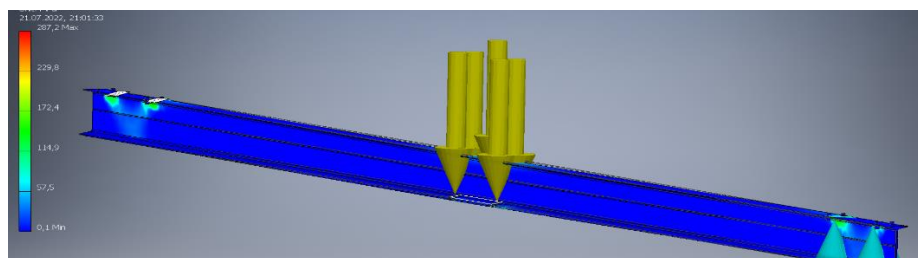


Рис. 11. Напруження по Мизесу для комбінованої балки

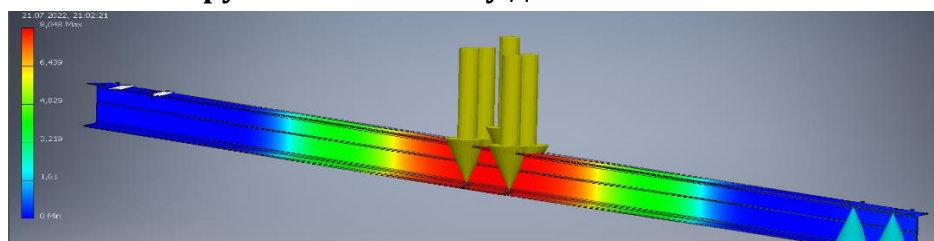


Рис. 12. Прогин комбінованої балки

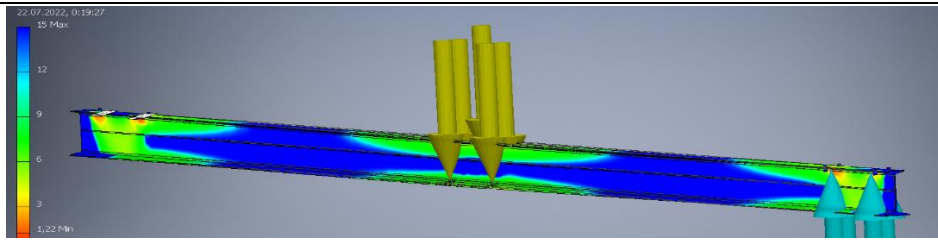


Рис. 13. Коефіцієнт запасу міцності для комбінованої балки

Також з метою зменшення матеріалоемності був розглянутий варіант балки отворами. Але в цьому випадку маємо великі переміщення (13,02 мм) і не виконується умова жорсткості (рис. 14).

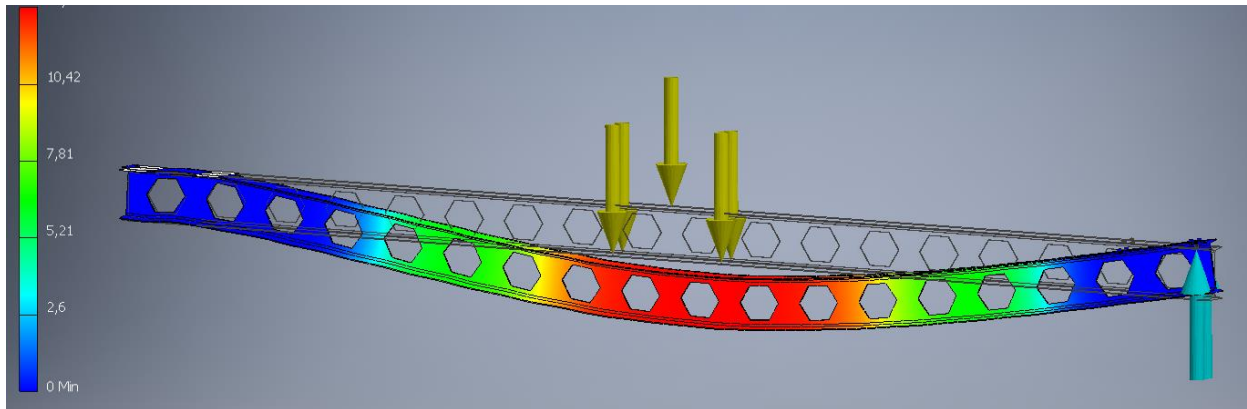


Рис. 14. Розподіл переміщень для балки з отворами

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок

В роботі виконувались дослідження напружено-деформованого стану головної балки мостового крану. Були розглянуті чотири варіанта конструкції: базовий та три зі зменшеною вагою.

Базовий варіант відповідав всім вимогам міцності та жорсткості, але мав надлишкову матеріалоемність. Один із запропонованих варіантів відповідає умовам міцності, але не відповідає умовам жорсткості. Тому пришили до висновку зупинитися на варіанті комбінованої балки. Необхідною перспективою для подальшого вивчення цієї проблеми є перевірка на витривалість конструкції в області зварного шва.

Список літератури

1. Тіщенко Л.М., Білостоцький В.О. Проектування вантажопідіймних машин та навантажувачів. Харків, 2003, 406 с.
2. Іванченко Ф.К. Розрахунки вантажопідіймальних кранів та і транспортуючих машин. Київ: «Вища школа». 1978, 576 с.
3. Свіргун О.А., Задеріхін Є.М., Свіргун В.В. Аналіз напружено-деформованого стану головної балки мостового однобалкового крану. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація». Харків. 2021, С.°195-199.
4. Sowa L., Skrzypczak T., Kwiaton P. The effect of the gantry crane beam cross section on the level of generated stresses. MATEC Web Conf. Volume 157, 2018. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815702047>
5. Haniszewski, T. Strength analysis of overhead traveling crane with use of finite element method. *Transport problems*. 2014. № 9(1). P. 19–26.
6. Patel P.R., Patel V.K. A review on structural analysis of overhead crane girder using FEA technique. *Int. J. Eng. Sci. Innov. Tech.* 2013. № 2 (4), P. 41-44.
7. Suratkar A., Shukla V., Zakiuddin D.K.S. Design optimization of overhead EOT crane box girder using finite element analysis. *Int. J. Eng. Res. Tech.* 2013. №2 (7). P. 720-724.
8. Qin Y., Jiang J., Yang H. High precision analysis of stress concentration in girder structure of casting crane. *International Journal of Science and Qualitative Analysis*. 2016. № 2(2). P. 14–18. DOI: 10.11648/j.ijsqa.20160202.11
9. Фідровська Н.М., Слепужніков Є.Д., Пономаренко Р. В., Варченко І.С. Дослідження напружень виникаючих в головній балці мостового крану за допомогою 3D моделювання. Науковий журнал

References

1. Tischenko, L.M., Bilostots'kyj, V.O. (2003). *Proiektuvannia vantazhopidjomnykh mashyn ta navantazhuvachiv*. [Design of forklifts and loaders]. Kharkiv. Ukraine.
2. Ivanchenko, F.K. (1978). *Rozrakhunky vantazhopidijmal'nykh kraniv ta i transportiruiuschikh mashyn*. [Calculations of lifting cranes and transporting machines]. «Vyscha shkola». Kyiv. Ukraine.
3. Svirhun, O.A., Zaderikhin, Ye.M., Svirhun, V.V. (2021). «Analysis of the stress-strain state of the main girder of a single-girder bridge crane». *Avtomobil'nyj transport v ahrarnomu sektori: proiektuvannia, dyzajn ta tekhnologichna ekspluatatsiia*. [Automotive transport in the agricultural sector: planning, design and technological operation]. *Proceeding of the Materials of the International science and practice conf.*, pp.°195-199.
4. Sowa, L., Skrzypczak, T., Kwiatóń, P. (2018). The effect of the gantry crane beam cross section on the level of generated stresses. *MATEC Web Conf. Volume 157*. Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815702047>
5. Haniszewski, T. (2014). Strength analysis of overhead traveling crane with use of finite element method. *Transport problems*. no. 9(1), pp. 19–26.
6. Patel, P.R., Patel, V.K. (2013). A review on structural analysis of overhead crane girder using FEA technique. *Int. J. Eng. Sci. Innov. Tech.* no. 2 (4), pp. 41-44.
7. Suratkar, A., Shukla, V., Zakiuddin, D.K.S. (2013). Design optimization of overhead EOT crane box girder using finite element analysis. *Int. J. Eng. Res. Tech.* no. 2 (7), pp. 720-724.
8. Qin, Y., Jiang, J., Yang, H. (2016). High precision analysis of stress concentration in girder structure of casting crane. *International Journal of Science and Qualitative Analysis*. no. (2), pp. 14–18. DOI: 10.11648/j.ijsqa.20160202.11
9. Fidrovs'ka, N.M., Slepuzhnikov, Ye.D., Ponomarenko, R. V., Varchenko, I.S. (2021). «Study of stresses arising in the main beam of a bridge crane using 3D modeling». *Naukovyj zhurnal Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhajla Ostrohrads'koho*. Kremenchuk: KrNU, Issue 1(126), pp. 87-92.

Стаття надійшла до редакції 09.10.2021 р.