

Р. В. Зінько¹, М. В. Бурян², В. І. Фарима³¹Національний університет «Львівська політехніка», ORCID: 0000-0002-3275-8188,
e-mail: roman.v.zinko@lpnu.ua²Національний університет «Львівська політехніка», ORCID: 0000-0003-2859-3461,
e-mail: mykhailo.v.burian@lpnu.ua³Національний університет «Львівська політехніка», ORCID: 0009-0005-0362-0453,
e-mail: vitalii.faryma.mmbai.2023@lpnu.ua<https://doi.org/10.23939/istcipa2023.57>.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ АВТОКРАНІВ НА СПЕЦІАЛЬНИХ КОЛІСНИХ ПЛАТФОРМАХ

© Зінько Р. В., Бурян М. В., Фарима В. І., 2023

Постановка проблеми та мета роботи. Модернізація та вдосконалення випущених автокранів дає змогу підвищити їх вантажопідймальність, покращити експлуатаційні властивості, змінити зовнішній вигляд тощо. Водночас при модернізації доводиться враховувати особливості нових або змінених компонентів, щоб забезпечити вимоги міцності та надійності. У випадку спеціальної і спеціалізованої техніки навантаження проявляються у режимі руху (транспортування) і виконання технологічних процесів. Оскільки ці режими суттєво відрізняються, агрегати та їх деталі необхідно перевіряти з врахуванням цих впливів. Тому важливим є комплексний підхід у процесі проведення модернізації мобільної підйально-транспортної техніки. **Методика роботи.** Автокрани поєднують два режими функціонування – транспортування і обробку вантажу, для перевірки деталей необхідно визначити умови стійкості машини при цих двох режимах і зусилля, що діють на деталі. Для режиму руху (транспортування) проводиться розрахунок кута статичної бокової стійкості крана без і з врахуванням деформації шин та ресор і зусиль, що виникають при цьому. Також розглядають випадки, коли кран знаходиться на похилій ділянці поперек нахилу і блокування ресор включено/виключено. **Результати статті.** На підставі проведеного огляду конструкції і досліджень в галузі кранобудування було встановлено, що одним з важливих факторів, які впливають на роботу автомобільних кранів, є забезпечення міцності окремих елементів конструкції, зокрема лонжеронів. В середовищі SolidWorks Simulation проведено розрахунок допустимого максимального напруження та результуючого переміщення з врахуванням сил затягування болтів, які діють на жорстко закріплені лонжерони шасі автомобільного крана, при гальмуванні. **Наукова новизна.** Подано приклад визначення критичних навантажень в різних режимах експлуатації і шляхів усунення руйнування елементів автомобільного крана як основи для розробки узагальноної методики. **Практичне значення результатів.** Для зменшення напружень кріплення перенесено до передньої осі автокрана на 400 мм, що забезпечує умову міцності. **Напрями подальших досліджень за тематикою статті.** Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розроблення узагальноної методики визначення критичних навантажень в різних режимах експлуатації і шляхів усунення руйнування елементів автомобільного крана.

Ключові слова: автомобільний кран, режими функціонування, методики проектування, критичні навантаження, запас міцності, лонжерони.

Вступ

Автокран – це особливий вид техніки, що складається з колісного шасі та вантажо підйального обладнання. Завдяки її універсальності таку спецтехніку використовують у сферах промисловості, виробництва, будівництва та інших [1].

У світі, що швидко змінюється і має необмежені технічні можливості, немає необхідності кожного року створювати нові технологічні машини, щоб йти в ногу з часом. Щоб оновити та покращити технічні та конструктивні можливості автомобільних кранів, проводиться модернізація та вдосконалення існуючих машин. Модернізація та вдосконалення випущених автокранів дає змогу підвищити їх вантажопідймальність, покращити експлуатаційні властивості, змінити зовнішній вигляд тощо. Водночас у процесі модернізації доводиться враховувати особливості нових або змі-

нених компонентів, щоб забезпечити вимоги міцності та надійності. У випадку спеціальної і спеціалізованої техніки навантаження проявляються у режимі руху (транспортування) і виконання технологічних процесів. Оскільки ці режими суттєво відрізняються, агрегати та їх деталі необхідно перевіряти з врахуванням цих впливів. Тому важливим є комплексний підхід у процесі проведення модернізації мобільної підйомно-транспортної техніки.

Аналіз літературних джерел

Розвиток кранової галузі пов'язаний зі збільшенням вантажопідйомності й ключових параметрів кранів (довжина прольоту, виліт стріли, висоти точності підйому вантажу), підвищенням продуктивності, маневреності та точності дії, використання автоматичної системи управління, зменшення навантаження та маси кранів тощо.

У статті [2–5] розглянуто проблему оцінки стану підкранових балок в умовах важких режимів роботи, зокрема важких вантажопідіймальних операцій. Подані методики оцінки параметрів підкранових балок та надано об'єктивну інформацію про відхилення реальних конструктивних елементів балки від проектних. Розглянуто штатні та аварійні режими роботи. Розрахунки свідчать, що максимальне відхилення від прямолінійності елементів і конструкцій підкранової балки в площині рейки становить 10 мм.

У статті [6] представлено теоретичні викладки щодо оцінки напружено-деформованого стану елементів металеві конструкції вантажопідіймальних машин за наявності пошкоджень у вигляді втомних тріщин. Дослідження виявили, що основними місцями утворення тріщин є елементи зі змінним поперечним перерізом, де змінюється напружений стан металоконструкції, особливо при динамічному навантаженні.

У статті [7] описано підстави для широкого використання конструкції автомобільних кранів з телескопічними стрілами. Наведено методи статичного розрахунку автомобільних кранів з телескопічними стрілами та метод кінцевих елементів з теорією тонкостінних стрижнів замкнутого профілю. Показано вплив секторних параметрів деформованого перетину стріли в напружено-деформованому стані крана.

У праці [8] проведені теоретичні та експериментальні дослідження навантажень на опорно-ходове обладнання стрілових самохідних кранів. Результати свідчать, що у разі виникнення динамічних навантажень через жорсткість системи під час роботи крана навантаження на ходову частину значно коливаються і навантаження перерозподіляються на опорні елементи. В результаті досліджень були знайдені методи зменшення цих навантажень за допомогою демпферних пристроїв.

У працях [9,10] розглянуто навантаження на конструктивні елементи технологічних машин, зокрема кранів, у процесі виконання ними навантажувальних робіт. Наведено методики визначення і розрахунку таких навантажень.

В роботах [11–13] досліджено вплив вантажу, підвішеного на пружних тросах. Розглянуто особливості коливних процесів під час підйому вантажу і переміщення крана з вантажем.

На основі проведеного огляду конструкції і досліджень в галузі кранобудування було виявлено, що актуальне: забезпечення стійкості кранів під час їх роботи; забезпечення міцності окремих елементів конструкції, зокрема лонжеронів; забезпечення оптимального навантаження на шасі автомобільного крана під дією навантаження від кранового обладнання; забезпечення правильного вибору матеріалу деталей конструкції автомобільного крана.

З досвіду експлуатації кранів у «ВКФ ДЗАК» для кранів окремих моделей виявлено часткове руйнування лонжеронів.

Мета

Метою є врахування різних навантажень на агрегати при русі автокрана і виконанні ним навантажувальних робіт, визначення при цьому меж міцності і шляхів усунення руйнування елементів автомобільного крана, зокрема лонжеронів.

Методика проведення дослідження

Оскільки автокрани поєднують два режими функціонування (транспортування і обробку вантажу), для перевірки деталей необхідно визначити умови стійкості машини при цих двох режимах і зусилля, що діють на деталі. Для режиму руху (транспортування) проводиться розрахунок кута статичної бокової стійкості крана без і з врахуванням деформації шин та ресор і зусиль, що виникають. Також розглядають випадки, коли кран знаходиться на похилій ділянці поперек нахилу і блокування ресор включено/виключено.

Результати дослідження та їх обговорення

У випадках перевищення критично допустимих навантажень пропонують варіанти усунення проблеми.

Так при руйнуванні лонжеронів рами автомобільного крана можна усунути шляхом зменшення критичних навантажень на них. Варіанти реалізації:

1. Встановлення платформи, на якій вже встановлюється кран і виносні опори [14].

2. Перенесення кріплення кранового обладнання (наскільки це конструктивно допустимо) допереду (до передньої осі автомобіля), що забезпечує допустиме максимальне напруження.

Використання додаткової платформи збільшує вагу автомобільного крана, дещо зменшує його вантажопідйомність.

Другий варіант менш затратний, хоча не для всіх конструкцій кранів забезпечує бажані результати.

Розглянемо другий варіант. Для цього в середовищі SolidWorks Simulation (COSMOSWorks) створено тривимірну модель лонжеронної рами шасі автомобіля. Проводимо розрахунок напруженого стану конструкції використовуючи еквівалентні напруження за теорією максимальної енергії формозміни (4 теорія міцності або теорія Губера-Мізеса) [15,16].

В умовах складного напруженого стану граничний стан пластичних ізотропних матеріалів зазвичай описують так:

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}; \tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – еквівалентні напруження по осях, σ_i – інтенсивність напружень, а τ_{\max} – максимальне дотичне напруження. Вони пов'язані з головними напруженнями:

критерієм Губера-Мізеса [15–17]

$$\sigma_i = \text{const}$$

або критерієм Кулона-Треска

$$\tau_{\max} = \text{const}$$

Граничною поверхнею в тривимірному просторі для опису головних напружень критерієм Губера-Мізеса є круговий циліндр, вісь якого збігається з гідростатичною віссю, а для критерію Кулона-Треска такою поверхнею є правильна шестигранна призма, що вписана в циліндр Мізеса. При інженерних розрахунках ці критерії використовують для прогнозування початку пластичного деформування матеріалу або руйнування (критерій текучості і міцності матеріалу).

Незважаючи на те, що еквівалентне напруження в довільній точці не однозначно визначає напружений стан в цій точці, воно надає достатню інформацію, щоб оцінити надійність конструкції для багатьох пластичних матеріалів. На відміну від компонентів напружень, еквівалентне напруження не має спрямування. Воно повністю визначається величиною, вираженою в одиницях напруження.

На рис. 1 зображено загальний напружений стан, місце з найбільшим максимальним напруженням, яке діє на лонжерони автокрана. Напруження становить $[\sigma] = 483,162$ МПа. Допустиме значення напруження $[\sigma] = 229$ МПа. $[\sigma] = 483,162$ МПа $>$ $[\sigma] = 229$ МПа. Отже, умова не виконується.

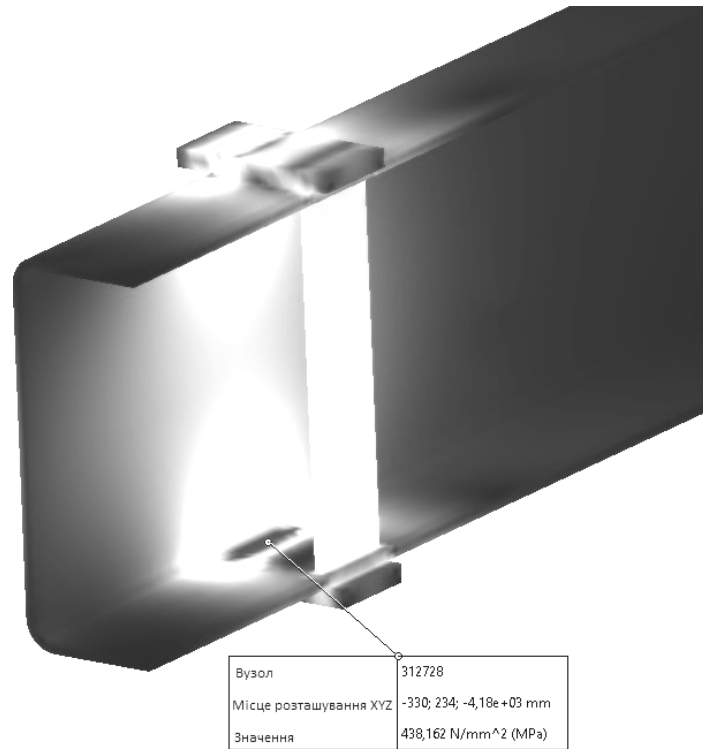


Рис.1. Напруження, яке діє на лонжерони автокрана
Fig. 1. The tension acting on the spars of the truck crane

Епюра переміщення показує результати переміщення та сили реакції для статичного, нелінійного, динамічного досліджень, а також випробування на ударну міцність або форм коливань для частотного дослідження та випробування втрати стійкості [15].

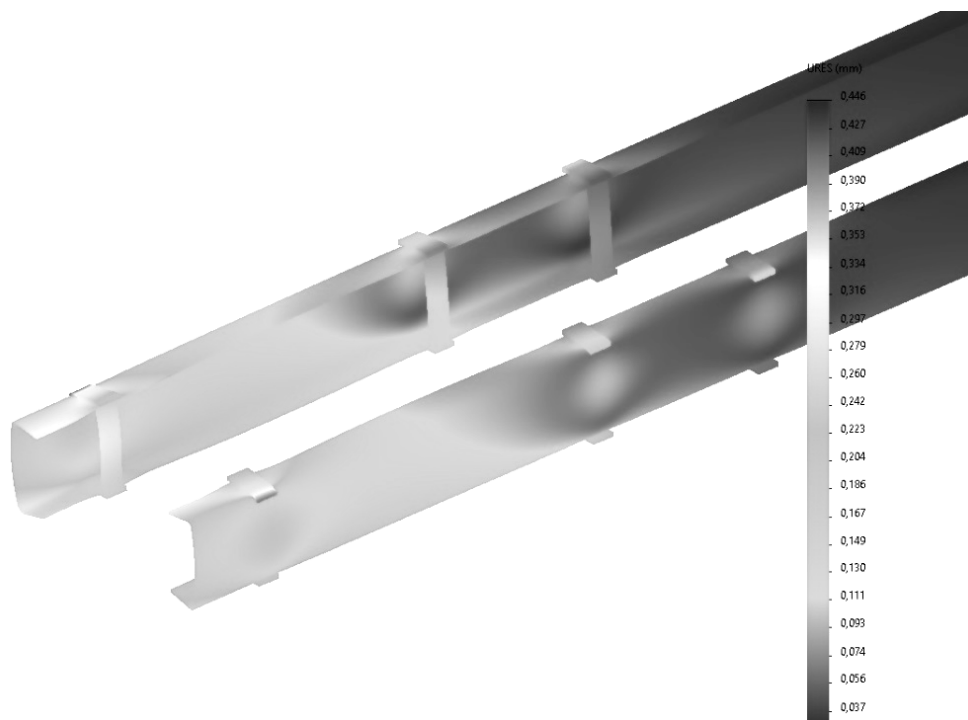


Рис.2. Епюра переміщень
Fig. 2. Displacement diagram

Проаналізувавши епюру переміщень (рис. 2), можна побачити, що максимальне переміщення становить URES 0,446 мм.

Для зменшення максимальних навантажень під дією сили затягування болтів переносимо кріплення максимально близько до передньої осі автокрана.

На рис. 3. зображено загальний напружений стан, місце з найбільшим максимальним напруженням, яке діє на лонжерони автокрана. Після перенесення кріплення на 400 мм до передньої осі автокрана напруження значно зменшилось. Напруження становить $[\sigma] = 222,418$ МПа. Допустиме значення напруження $[\sigma] = 229$ МПа. Напруження $\sigma = 222,418$ МПа $\leq [\sigma] = 229$ МПа Отже, умова виконується.

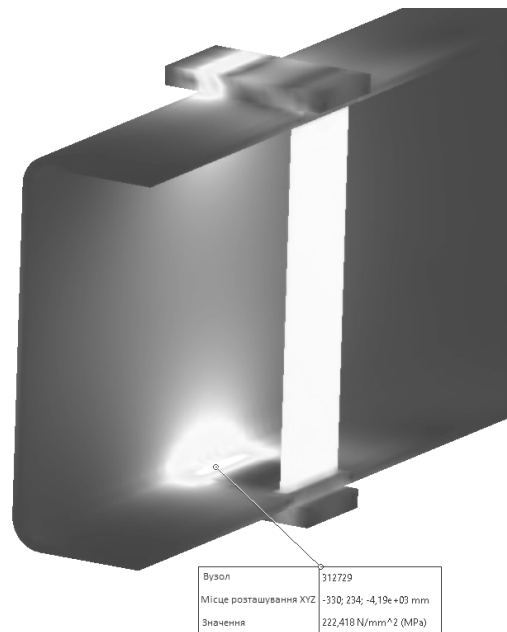


Рис.3. Напруження, яке діє на лонжерони автомобіля (після перенесення кріплень максимально близько до передньої осі автокрана)
 Fig. 3. The tension acting on the car's spars (after the mount was moved ,maximum to the front axle)

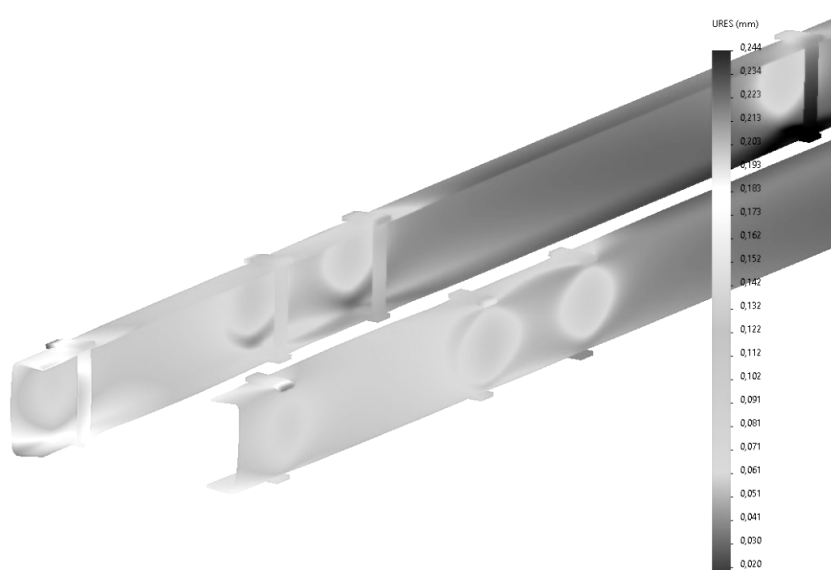


Рис.4. Епюра переміщень (після перенесення кріплень максимально близько до передньої осі автокрана)
 Fig. 4. Displacement diagram (after the mount was moved ,maximum to the front axle)

Висновки

На підставі проведеного огляду конструкції і досліджень в галузі кранобудування було встановлено, що одним з важливих факторів, які впливають на роботу автомобільних кранів, є забезпечення міцності окремих елементів конструкції, зокрема лонжеронів.

В середовищі SolidWorks Simulation проведено розрахунок допустимого максимального напруження та результуючого переміщення з врахуванням сил затягування болтів, які діють на жорстко закріплені лонжерони шасі автомобільного крана, при гальмуванні. Для зменшення напружень кріплення перенесено до передньої осі автокрана на 400 мм, що забезпечує умову міцності.

Навантаження на болт є меншим за допустиме, отже, умова міцності на болт витримана.

Список літератури

1. Слепужников Є. Д. Використання кранів мостового типу в сучасній промисловості. / Є. Д. Слепужников, Н. М. Фідровська // *Tendenze attuali della moderna ricerca scientifica*. 2020, Band 3. – С. 96-97.
2. Tiutkin O. Research of the Strained State in the "Subgrade–Base" System at the Variation of Deformation Parameters / O. Tiutkin, R. Keršys, L. Neduzha. *Transport Means 2020: Proc. of the 24th Intern. Sci. Conf. Kaunas, Lithuania, 2020, Pt. II.* – P. 446–451.
3. Moskvichev V.V. Analysis of the fatigue cracks development in crane girders and assessment of their residual life / V.V. Moskvichev, E.A. Chaban. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*. 2018, Vol. 84(7). – P.47–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2018-84-7-47-54>.
4. Rykaluk K. Fatigue hazards in welded plate crane runway girders – Locations, causes and calculations / K. Rykaluk, K. Marcinczak, S. Rowiński. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018, Vol. 18, Issue 1, pp. 69-82.
5. Chin C. Nonlinear dynamics of a boom crane / Chin C., Nayfeh A. H., and Abdel-Rahman E. *Journal of Vibration and Control*. 2001, No 7. – P.199–220.
6. Danilov A. Non-disruptive method to decrease stresses in the web of the crane beam / A. Danilov, O. Tushina. XXIV International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2021). 2021, Vol. 263. –P.1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302022>.
7. Kimiaghalam, B. Modeling and control of a shipboard crane / B. Kimiaghalam, B. Wen, A. Homaifar, M. Bikdash. / *Proceedings of the World Automation Congress, Maui, HI. 2000, Paper No ISIAC-143*.
8. MacCrimmon R.A. *Guide for the Design of Crane-Supporting Steel Structures* // Ontario: Canadian Institute of Steel Construction Institut. 2005, 129p.
9. Тоома В. *Design of crane runway structures*. Hamilton: McMaster University. 1980, 134p.
10. Крупко В.Г. Обґрунтування навантажень на гусеничні рушії землерийних машин / В.Г. Крупко, В.О. Койнаш, С.О. Єрмакова. *Сб. науч. тр. ХНАДУ: Автомобильный транспорт*. 2012, вып. 31. – С. 178–182.
11. Kutsenko L. Synthesis and classification of periodic motion trajectories of the swinging spring load / L. Kutsenko et. al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, vol. 2/7, no. 98. – pp. 2-37.
12. A. Zelic A. Experimental determination of lateral forces caused by bridge crane skewing during travelling / A. Zelic, N. Zuber and R. Sostakov // *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 2018, vol. 20, no. 1, pp. 90-99.
13. Haniszewski T. Hybrid analysis of vibration of the overhead travelling crane / T. Haniszewski // *Transport problems*. 2014, vol. 9, no. 2. – pp. 89-99.
14. Зінько Р. В. Дослідження напружень в рамі автомобільного крана. / Р. В. Зінько, О. З. Горбай, А. П. Поляков, В. В. Попович, М. О. // *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021, №1(13). – С. 45-53.
15. *Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии: Под общей редакцией академика НАН Украины А.А.Лебедева* – К.: Издательский Дом «Ин Юре», 2003. – 540 с.
16. Lebedev A.A., Kovalchuk V.I., Giginjak F.F., Lamashevsky V.P. *Handbook of mechanical properties of structural materials at a complex stress state.* – New York: Begell House, 2000. – 500 p.
17. Лебедев А.А., Ковальчук Б.И., Гигиняк Ф.Ф., Ламашевский В.П. *Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии.* К.: Изд. Дом «Ин Юре», 2003. – 540 с.

Roman Zinko, Mykhailo Burian, Vitalii Faryma
Lviv Polytechnic National University

FEATURES OF CONSTRUCTION OF TRUCK CRANES ON THE SPECIAL WHEELED PLATFORMS

Problem statement and the research purpose. Modernization and improvement of manufactured mobile cranes makes it possible to increase their load capacity, improve their operational properties, change their appearance, etc. At the same time, the modernization must take into account the features of new or changed components in order to ensure the requirements of strength and reliability. In the case of special and specialized equipment, loads are manifested in the mode of movement (transportation) and execution of technological processes. Since these modes are different, units and their parts must be tested with these effects in mind. Therefore, a comprehensive approach is important when modernizing mobile lifting and transport equipment. **Methodology of the study.** Mobile cranes combine two modes of operation - transportation and handling of cargo, to check the parts, it is necessary to determine the stability conditions of the machine in these two modes and the forces acting on the parts. For the mode of movement (transportation), the calculation of the angle of static stability of the crane is carried out without and with the deformation of tires and springs and the forces that arise in this case. Cases are also considered when the crane is located on an inclined section across the slope and the spring lock is on/off. **Results of the investigations.** Based on the review of the structure and research in the field of crane construction, it was established that one of the important factors that affect the operation of automobile cranes is ensuring the strength of individual structural elements, in particular the spars. In the SolidWorks Simulation environment, the calculation of the maximum allowable stress and the resulting displacement was carried out, taking into account the tightening forces of the bolts that act on the rigidly fixed spars of the car crane chassis, during braking. **Scientific novelty.** The article presents an example of determining critical loads in different operating modes and ways to eliminate the destruction of elements of an automobile crane as a basis for the development of a generalized methodology. **Practical value of the results.** To reduce stresses, the mount was moved to the front axle of the truck crane by 400 mm, which ensures the condition of strength. **Scopes of further investigations on the subject of the paper.** Further research can be directed to the development of a generalized methodology for determining critical loads in various operating modes and ways to eliminate the destruction of elements of an automobile crane.

Keywords: Automotive crane, modes of operation, design methods, critical loads, margin of safety, spars.

References

1. Sljepuznikov J. D. Vykorystannja kraniv mostovogo typu v suchasnij promyslovosti. [A crane of bridge type is in modern industry] / Ye. D. Slepuzhnykov, N. M. Fidrovskaja // Tendenze attuali della moderna ricerca scientifica. 2020, Band 3. – P. 96-97.
2. Tiutkin O. Research of the Strained State in the "Subgrade–Base" System at the Variation of Deformation Parameters / O. Tiutkin, R. Keršys, L. Neduzha // Transport Means 2020: Proc. of the 24th Intern. Sci. Conf. Kaunas, Lithuania, 2020, Pt. II, – pp. 446–451.
3. Moskvichev V.V. Analysis of the fatigue cracks development in crane girders and assessment of their residual life / V.V. Moskvichev, E.A. Chaban // Industrial laboratory. Diagnostics of materials. 2018, Vol. 84(7). – pp. 47-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2018-84-7-47-54>.
4. Rykaluk K. Fatigue hazards in welded plate crane runway girders – Locations, causes and calculations / K. Rykaluk, K. Marcinczak, S. Rowiński // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2018, Vol. 18, Issue 1, pp. 69-82.
5. Chin C. Nonlinear dynamics of a boom crane / Chin C., Nayfeh A. H., and Abdel-Rahman E. // Journal of Vibration and Control. 2001, No 7, – pp.199-220.
6. Danilov A. Non-disruptive method to decrease stresses in the web of the crane beam / A. Danilov, O. Tusnina // XXIV International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2021). 2021, Vol. 263, – pp.1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302022>.
7. Kimiaghalam, B. Modeling and control of a shipboard crane / B. Kimiaghalam, B. Wen, A. Homaifar, M. Bikdash // Proceedings of the World Automation Congress, Maui, HI. 2000, Paper No ISIAC-143.
8. MacCrimmon R.A. Guide for the Design of Crane-Supporting Steel Structures // Ontario: Canadian Institute of Steel Construction Institut. 2005, 129p.
9. Tooma B. Design of crane runway structures // Hamilton: McMaster University. 1980, 134p.

10. Krupko V.H. Obgruntuvannia navantazhen na husenychni rushii zemleryinykh mashyn / V.H. Krupko, V.O. Koinash, S.O. Yermakova // Sbornyk nauchnykh trudov KhNADU: Avtomobylnyi transport. 2012, vyp. 31. – P. 178-182.
11. Kutsenko L. Synthesis and classification of periodic motion trajectories of the swinging spring load / L. Kutsenko et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019, vol. 2/7, no. 98. – pp. 2-37.
12. A. Zelic A. Experimental determination of lateral forces caused by bridge crane skewing during travelling / A. Zelic, N. Zuber and R. Sostakov // Eksploatacja i Niezawodnosc. 2018, vol. 20, no. 1, pp. 90-99.
13. Haniszewski T. Hybrid analysis of vibration of the overhead travelling crane / T. Haniszewski // Transport problems. 2014, vol. 9, no. 2. – pp. 89-99.
14. Zinko R. V. Doslidzhennia napruzhen v rami avtomobilnoho krana. / R. V. Zinko, O. Z. Horbai, A. P. Poliakov, V. V. Popovych, M. O. // Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. 2021, №1(13). – P. 45-53.
15. Mekhanycheskyye svoystva konstruktsyonnykh materyalov pry slozhnom napriazhennom sostoianyy: Pod obshchei redaktsyei akademika NAN Ukrainy A.A. Lebedeva. K.: Yzdatelskyi Dom «Yn Yure», 2003. – S 540 p.
16. Lebedev A.A., Kovalchuk B.I., Giginjak F.F., Lamashevsky V.P., Handbook of mechanical properties of structural materials at a complex stress state. – New York: Begell House, 2000. – 500 p.
17. Lebedev A.A. Mekhanycheskyye svoystva konstruktsyonnykh materyalov pry slozhnom napriazhennom sostoianyy / A.A. Lebedev, B.Y. Kovalchuk, F.F. Hyhyniak, V.P Lamashevskyi. // K.: Yzd. Dom «Yn Yure», 2003. – 540 c.