

problems of plate elements bending of engineering structures[Text] / V. Orobey, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – 7(4). – P. 295–302.

8. Kolomiets L. V., Determination of the stressed-deformed status of the lower jaw numerous-analytical optional method of boundary elements / Kolomiets L. V., Orobey V. F., Lymarenko O. M., Lymarenko A. S. // Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation of Quality. – 2019. – 1 (14). – P. 33-38.

9. Malanchuk V. Vyvchennia biomekhaniky

nyzhnoi shchelepy na tryvymirnykh kompiuternykh modeliakh metodom skinchennykh elementiv / V. O. Malanchuk, M. H. Kryshchuk, A. V. Kopchak // Visnyk stomatolohii. – 2009. – # 3. – S. 56–62.

10. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes[Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4–11.

Надійшла до редакції 19.11.2019.

УДК 534.111

О. А. Романов, О. М. Лимаренко, к.т.н., А. Ю. Бажанова, к.т.н.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА ЧИСЕЛЬНИМ МЕТОДОМ

У роботі розглянуто підхід до оцінки напружено-деформованого стану підйомно-транспортної машини, що знаходиться тривалий час в експлуатації, з використанням математичного моделювання, а саме використанням методу скінченних елементів для визначення полів напружень та виявлення найбільш небезпечних зон при експлуатаційному навантаженні. Для отримання реальних навантажень, що виникають в металокопструкції крана були використані дані експерименту. На підставі отриманих результатів зроблені висновки про поточний стан металокопструкції крана і про умови можливості подальшої експлуатації його металокопструкції. Визначено небезпечні місця в металокопструкції крана, які можуть бути осередком руйнування, для подальшого проведення замірів фізичних властивостей металу та обґрунтування висновку про стан кранової металокопструкції. Модель причального контейнерного перевантажувача створювалася з використанням програмного комплексу Solid Works.

Ключові слова: метод скінченних елементів, причальний контейнерний перевантажувач, комп'ютерне моделювання, алгоритм, напружено-деформований стан.

А. А. Романов, А. М. Лимаренко, к.т.н., А. Ю. Бажанова, к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

В работе рассмотрен подход к оценке напряженно-деформированного состояния подъемно-транспортной машины, которая находится длительное время в эксплуатации, с использованием математического моделирования, а именно использованием метода конечных элементов для определения полей напряжений и выявления наиболее опасных зон при эксплуатационной нагрузке. Для получения реальных нагрузок, возникающих в металлокопструкции крана, были использованы данные эксперимента. На основании полученных результатов сделаны выводы о текущем состоянии металлокопструкции крана и об условиях возможности дальнейшей эксплуатации его металлокопструкции. Определены опасные места в металлокопструкции крана, которые могут быть очагом разрушения, для дальнейшего проведения замеров физических свойств металла и обоснования заключения о состоянии крановой металлокопструкции. Модель причального контейнерного перегружателя создавалась с использованием программного комплекса Solid Works.

Ключевые слова: метод конечных элементов, причальный контейнерный перегружатель, компьютерное моделирование, алгоритм, напряженно-деформированное состояние.

O. A. Romanov, O. M. Lymarenko, PhD, A. Yu. Bazhanova, PhD

RESEARCH OF STRENGTH-DEFORMED CONDITION OF MOORAGE CONTAINER LOADERS BY NUMERICAL METHODS

The paper considers the approach to the estimation of the stress-strain state of a lifting-transport machine, which has been in operation for a long time, with the introduction of mathematical modeling, namely, the introduction of the finite element method for determining the stress fields and the identification of the most dangerous zones during the operational load. Experimental data were used to obtain real loads occurring in the crane metalwork. A review of the sources shows that the elements of the metalwork of all cranes have a personal prior history of strength and deformation, which is difficult to overestimate, especially the cranes that have been in operation for decades. It is substantiated that the parameters of stiffness and strength determined in the material exceed the permissible error of linear and angular dimensions. Obviously, modern calculations of metal structures should be carried out with the obligatory application of numerical experiment and determination of mechanical parameters by computer methods to ensure the operation of cranes without damage. On the basis of the obtained results, conclusions were drawn about the current state of the crane's metalwork and the conditions for the possibility of further operation of its crane. Hazardous locations in the crane metal structure have been identified, which can be a source of destruction, for further measurements of the physical properties of the metal and the conclusion in the state of the Crane metal structure. The model of the mooring container reloader was created with the introduction of the Solid Works software package. The metal structure of the mooring container reloader was calculated numerically using CAD. The stressed and deformed state in accordance with the requirements for hoisting-and-transport machines were determined. Hazardous locations in the crane metal structure, which can be a source of destruction, have been determined to further measure the physical properties of the metal and to conclude on the state of the crane metal structure. The proposed method of solving the problem can be applied in most cases of trucks.

Keywords: *finite element method, mooring container container, computer simulation, algorithm, stress-strain state.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-36-40

Вступ

Аналіз стану підйомно-транспортної техніки показує, що середній вік кранів знаходиться за межами дозволених норм.

Проблема відновлення парку вантажопідіймальних кранів і технічного переозброєння промислових підприємств вимагає часу і великих капітальних витрат. Придбання нового крана потребує вирішення комплексу питань щодо його вибору за критерієм вартість-якість, способу його транспортування до місця призначення, монтажу крана, його налаштування й інших поточних проблемах, що вимагає суттєвих витрат часу на очікування і значних капітальних витрат.

Останнім часом в інженерну практику впроваджуються методи і технології, які дозволяють вже сьогодні при відносно невеликих витратах істотно збільшувати експлуатаційний ресурс наявного парку вантажопідійомних кранів.

Отже, вдосконалення існуючого крана, в першу чергу, ставить питання про визначення реального стану металоконструкції, причини її руйнування, визначення способів реконструкції цієї металоконструкції, які дали б можливість надалі використовувати кран як дієву одиницю робочого процесу без значних подальших витрат на

ремонт металоконструкції крана.

Продовження терміну безпечної експлуатації технічних пристроїв здійснюється на основі оцінки їх індивідуального технічного стану. Такий підхід використовується зараз в цивільній авіації, в енергетиці, важкій і гірничодобувній промисловості, в практиці експлуатації автомобілів, будівельно-дорожніх машин і сільськогосподарської техніки.

Як правило, при оцінці залишкового ресурсу обмежуються перевіркою статичної міцності металоконструкції і розрахунком на опір втоми. Розрахунок на опір втоми при цьому є допоміжним, оскільки втома металоконструкції характерна тільки для інтенсивно експлуатованих кранів.

В роботі розглянуто існуючі, найбільш поширені методики визначення напружено-деформованого стану конструкцій підйомних кранів.

Аналіз публікацій

Основним завданням українських механіків і фахівців в галузі підйомно-транспортних машин, спецтехніки і взагалі машинобудування є науково обгрунтовані роботи направлені на підвищення механізації, продуктивності і розширення

технологічних можливостей підйомно-транспортних машин, тому наукові дослідження що проводяться в роботі дуже актуальні в сучасних умовах.

Науковому обґрунтуванню методів вирішення завдань міцності, жорсткості і надійності кранових металоконструкцій присвячені роботи вчених Баженова В. А., Коломійця Л. В., Андрієнка М., Семенюка В. Ф. Роботи авторів Бузуна І. М., Городецького А. С., Москвічової Л. Ф., Піскунова В. Г., Оробея В. Ф. присвячені розрахунку і аналізу несучої здатності металоконструкції з використанням автоматизованих систем розрахунку і сучасної обчислювальної техніки.

Робота [1] присвячена дослідженню причального контейнерного перевантажувача методом скінченних елементів. Для моделювання використано балочні скінченні елементи, що не дає можливості врахувати поперечні діафрагми жорсткості по довжині всіх конструктивних елементів. В дослідженні [2] розраховуються конструктивні стержневі елементи тільки у вигляді двомірних задач без врахування просторового навантаження яке випробовують реальні конструкції. В науковому дослідженні [3] розглянуто зміцненні деталі машин з урахуванням концентраторів напружень, але на прикладі тільки лабораторних зразків, що не відображає виробничих умов експлуатації конструкцій. В роботах [4, 5] розглянуто конструктивні елементи машин із спрощенням геометрії, що не відображає реального розподілу напружень і деформацій. В наукових дослідженнях [6-10] при розрахунках просторових і плоскосторових стержневих систем не враховуються нормальні зусилля, що не відображає напружено-деформований стан в повному обсязі.

Мета дослідження. Розробити та апробувати тривимірну розрахункову модель для визначення напружено-деформованого стану і найбільш навантажених ділянок причального контейнерного перевантажувача (ПКП).

Врахувати в роботі вплив поперечних діафрагм жорсткості на розподіл напружень і деформацій в металоконструкції перевантажувача. Навантажити несучу систему ПКП всіма видами просторового навантаження для точного визначення параметрів міцності та жорсткості.

При вирішенні важливої науково-технічної проблеми застосувати методи і засоби просторового моделювання та автоматичного забезпечення проектування, а в розрахунковій практиці отримати поширення числових методів.

Основна частина

На першій стадії проекту необхідно зібрати всю можливу інформацію і технічну документацію про об'єкт (паспорт крана, креслення металоконструкції, інформацію про перевантажувач

вантаж і т.д.). У випадку з причальним контейнерним перевантажувачем частина креслень були відтворені в результаті ручних вимірів існуючої металоконструкції.

Чисельне визначення НДС в основному виконується методом скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє вести розрахунок елементів зі складною конфігурацією та видами навантажень. При необхідності можуть бути враховані нелінійності (геометричні, фізичні).

Виходячи з існуючих методик визначення НДС, скористаємося чисельним методом. У практиці конструювання вантажопідйомних машин не всі навантаження обчислюються теоретично, частина з них визначається за емпіричними формулами (наприклад, зусилля від взаємодії реборди колеса з головою рейки), а їх значення може лежати в досить широких діапазонах. У зв'язку з вищесказаним, для перевірки відповідності розрахункової моделі крана реальним умовам його навантаження виконаємо порівняння чисельного розрахунку з експериментальними даними. Для коректно побудованої розрахункової моделі та доданих навантажень необхідно, щоб дані про НДС отримані чисельним і експериментальними методами, збіглися в межах інженерної похибки.

Для розрахункової моделі використовуємо випадок, якому відповідають максимальні навантаження робочого стану.

Сюди входять:

- вагові навантаження від номінального вантажу;
- вага металоконструкції;
- максимальні навантаження від тиску вітру робочого стану;
- інерційні навантаження, що виникають при підйомі вантажу;
- навантаження від відхилення вантажу від вертикалі;
- навантаження, викликані перекосом крана в процесі роботи;
- навантаження від позацентрового положення кабіни оператора.

Модель причального контейнерного перевантажувача створювалася з використанням програмного комплексу Solid Works. Для моделювання листів використовувалися скінченні елементи оболонкового типу, а для моделювання жорсткостей – скінченні елементи балкового типу з подальшим присвоєнням поперечного перерізу профілю. Моделювання велося «знизу-вгору» – від точки до лінії і площини.

При розрахунку металоконструкції крана (рис. 1) були використані такі властивості матеріалу: модуль Юнга $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; коефі-

цієнт Пуассона $\mu = 0,3$; коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 0,12 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; густина металу $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

На рисунках 2-5 наведено окремі результати розрахунків причального контейнерного перевантажувача.

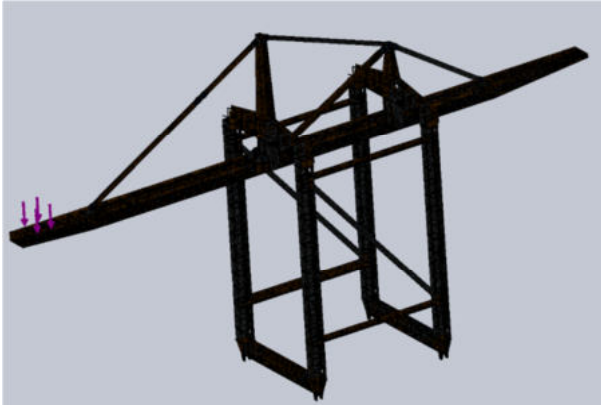


Рисунок 1 – Скінченно-елементна модель ПКП

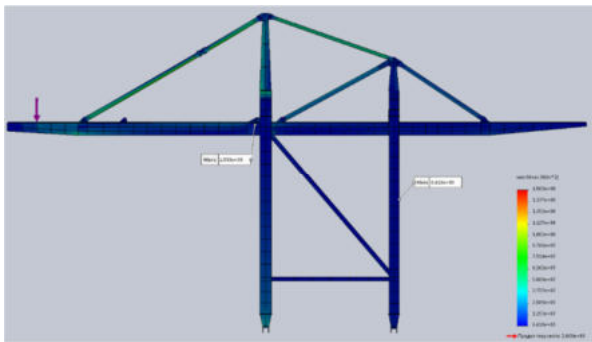


Рисунок 2 – Еквівалентні напруження в крані за гіпотезою Губера-Мізеса (МПа)

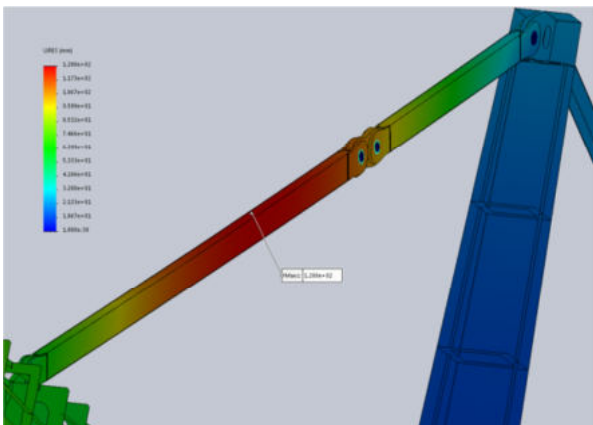


Рисунок 3 – Місце виникнення максимальних переміщень (передня відтяжка)

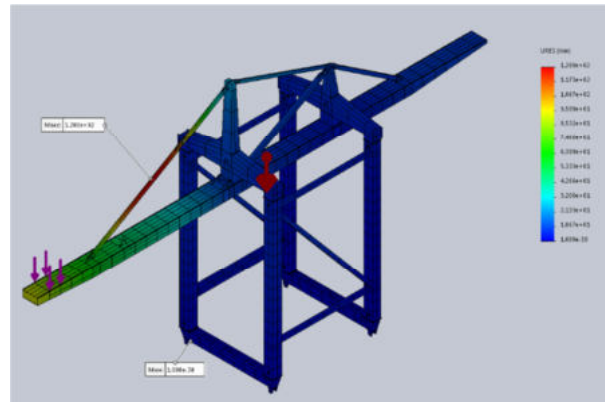


Рисунок 4 – Сумарні переміщення в металоконструкції крана (мм)

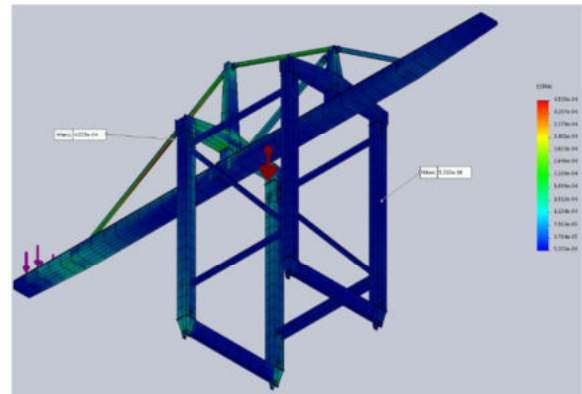


Рисунок 5 – Еквівалентні деформації в металоконструкції

Максимальні еквівалентні напруження в металоконструкції склали 150 МПа, а максимальні переміщення (вертикальні переміщення кінцевого перерізу стріли) – 12,8 см.

Осередки концентрації напружень в крані: з'єднання передньої відтяжки і стріли; передня верхня балка; передній пілон; місця кріплення основи порталу.

В цілому експлуатація крана можлива за визначеними параметрами міцності та жорсткості.

Висновки

1. Проведено розрахунок металоконструкції причального контейнерного перевантажувача чисельним методом з використанням САПР.

2. Визначено напружений і деформований стан згідно вимог до підйомно-транспортних машин.

3. Визначено небезпечні місця в металоконструкції крана, які можуть бути осередком руйнування. В подальшому в цих місцях будуть проводитися заміри ступеня деградації фізичних властивостей металу і по ним буде зроблено висновок про стан кранової металоконструкції.

Запропонована методика вирішення задачі може бути застосована в більшості випадків підйомно-транспортних машин.

Список використаних джерел

References

1. Коломієць Л. В. Комп'ютерний та натурний експеримент при визначенні напружень і деформацій металоконструкції причального контейнерного перевантажувача / Л. В. Коломієць, О. М. Лимаренко // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2018. – № 2(13). – С. 32–41.
2. Оробей В. Ф. Применение численных методов к расчету элементов судовых конструкций / В. Ф. Оробей, А. О. Немчук, А. М. Лимаренко // Вісн. Одес. нац. морського ун-ту. – 2009. – № 26. – С. 85–90.
3. Кравчук В. С. Влияние конструктивно-технологических факторов на коэффициент запаса прочности поверхностно-упрочненных деталей машин / В. С. Кравчук, А. М. Лимаренко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2006. – № 1 (25). – С. 14–17.
4. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method. / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 51, ч. 1. – С. 586–589.
5. Лимаренко А. М. Методика расчета рулевого управления с применением модуля программы Solid Works / А. М. Лимаренко, В. В. Хамрай А. А. Дашченко // Матеріали 9 міжнародної науково-практичної конференції «Современные исследования и развитие», Болгарія, Софія, 2015. – Том 16. – С. 11–13.
6. Баженов В. А. Численные методы в механике / В. А. Баженов, А. Ф. Дащенко, Л. В. Коломієць, В. Ф. Оробей, Н. Г. Сурьянинов. – Одеса: «Стандарт», 2005. – 564 с.
7. Оробей В. Ф. Расчет арок на устойчивость методом граничных элементов / В. Ф. Оробей, А. Ф. Дащенко, А. М. Лимаренко // Проблеми техніки. – Одеса, 2009. – № 2. – С. 114–123.
8. Orobey V. Boundary element method in problem of plate elements bending of engineering structures [Text] / V. Orobey, L. Kolomiets, A. Lymarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 4. – P. 295–302.
9. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes[Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8(89). – P. 4–11.
10. Orobey V. Stability of structural elements of special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7(92). – P. 4–10.
1. Kolomiets L. V. Kompiuternyi ta naturnyi eksperyment pry vyznachenni napruzhen i deformatsii metalokonstruksii prychalnoho konteinerneho perevantazhuvacha / L. V. Kolomiets, O. M. Lymarenko // Zbirnyk naukovykh prats ODATRIA. – 2019. – # 2(13). – S. 32–41.
2. Orobey V. F. Primenenie chislennykh metodov k raschetu e'lementov sudovykh konstrukcij / V. F. Orobey, A. O. Nemchuk, A. M. Limarenko // Visn. Odes. nac. mors'kogo un-tu. – 2009. – № 26. – S. 85–90.
3. Kravchuk V. S. Vliyanie konstruktivno-technologicheskikh faktorov na koe'fficient zapasa prochnosti poverxnostno-uprochnennykh detalej mashin / V. S. Kravchuk, A. M. Limarenko // Praci Odes'kogo politexnichnogo universitetu. – 2006. – № 1 (25). – S. 14–17.
4. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method. / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin // Visnyk Odeskoï derzhavnoi akademii budivnytstva i arkhitektury. – 2015. – Vyp. 51, ch. 1. – S. 586–589.
5. Limarenko A. M. Metodika rascheta rulevogo upravleniya s primeneniem modulya programy Solid Works / A. M. Limarenko, V. V. Xamraj A. A. Dashhenko // Materialy 9 mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennyye issledovaniya i razvitiye», Bolgariya, Sofiya, 2015. – Tom 16. – S. 11–13.
6. Bazhenov V. A. Chislennyye metody v mexanike / V. A. Bazhenov, A. F. Dashhenko, L. V. Kolomiec, V. F. Orobey, N. G. Sur'yaninov. – Odessa: «Standart», 2005. – 564 s.
7. Orobey V. F. Raschet arok na ustojchivost' metodom granichnykh e'lementov / V. F. Orobey, A. F. Dashhenko, A. M. Limarenko // Problemi texniki. – Odesa, 2009. – № 2. – S. 114–123.
8. Orobey V. Boundary element method in problem of plate elements bending of engineering structures [Text] / V. Orobey, L. Kolomiets, A. Lymarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 4. – P. 295–302.
9. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes[Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8(89). – P. 4–11.
10. Orobey V. Stability of structural elements of special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7(92). – P. 4–10.

Надійшла до редакції 09.10.2019.