

also true when using not only Sv-08A wire made of ferromagnetic material, but also for other wires that are ferromagnetic, for example, Hn-30HGSA and Sv-08G2S, which are widely used for welding and surfacing. It is shown that down from the electrode end to the product, the induction decreases according to the previously established dependence., there is a good convergence of the calculated and experimental data on the longitudinal component magnitude of the induction LMF in the electrode drop area, i.e. at a distance of 2...3 mm from the electrode end. These data are important for explaining the behavior of an electrode droplet at the end of both a nonmagnetic and ferromagnetic electrode during surfacing with the LMF action. The developed calculation method is proposed for use in submerged arc surfacing (welding) with wire under flux with the control LMF action.

Keywords: arc surfacing, wire, longitudinal magnetic field, induction, ferromagnetic, calculation method.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Андилахай А. А.
Статья поступила 10.02.2019 г.

УДК 621.875

Сагіров Ю. Г., Суглобов В. В.

МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ТА АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОЛОНИ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА «КОНДОР»

Уточнення методів розрахунків елементів порталних кранів на міцність, розробка нових методологій є важливим науково-технічним завданням, рішення якого дозволить підвищити безпеку експлуатації крана в цілому. Метою даної роботи є моделювання навантаженості колони порталного крана «Кондор» під час роботи з застосуванням методу кінцевих елементів (МСЕ) та аналіз фактичного напружено-деформованого стану її елементів. Об'єктом дослідження є закономірність розподілу напружень в елементах колони. У статті запропонована методологія моделювання та аналізу напружено-деформованого стану колони порталного крана «Кондор», яка ґрунтується на методах розрахунків на міцність за допустимими напруженнями та методу скінченних елементів.

Розроблено розрахункову схему, твердотільно-деформовану модель та виконаний розрахунок методом скінченних елементів у CAD/CAE системі. Наведено результати розрахунків та аналізу. Отримана закономірність розподілу напружень в елементах колони наочно показала, що напруження розподілені нерівномірно; напружено-деформований стан елементів колони є досить складним і вимагає додаткових досліджень.

Ключові слова: порталний кран, колона, металоконструкція, оптимізація, просторова модель, розрахункова схема, метод скінченних елементів, критерії.

Постановка проблеми.

Несучі металоконструкції порталних кранів є досить масоємними і такими, що у переважній більшості, визначають кінцеву вартість. Під час проектування багато уваги приділяється режимам їх навантажень і дотриманню вимог по жорсткості, втомній і статичній міцностях і ін. Застосування оптимізаційного підходу до проектування саме несучих металоконструкцій є найбільш ефективним [1], тому що навіть незначне зниження ваги дає суттєву економію ресурсів, як матеріальних, так і трудових, і фінансових.

Сучасні CAD/CAE системи, ще на початкових стадіях проектування, дають змогу застосовувати оптимальне проектування металевих конструкцій, що дозволяє знаходити кращі конструктивні варіанти. У якості прикладу можна навести топологічну оптимізацію. Нажаль, в Україні на сьогодні досить небагато наукових обґрунтувань з побудови 3D моделей ПТМ, розробці розрахункових схем для виконання розрахунків методом скінченних елементів з використанням CAD/CAE систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомо [2], що актуальним завданням та значною проблемою є удосконалення складних кінцево-елементних моделей. Разом із тим, використання топологічної оптимізації під час проектування є відносно новим компонентом [3]. Виділяють [4] три методики розрахунків металевих конструкцій вантажо-підйомних машин:

- 1) за допустимим напруженням;
- 2) система імовірнісних розрахунків;
- 3) за граничним станом.

Крім того, виділяють також [5] метод скінченних елементів (МСЕ), який доцільно застосовувати для виконання аналізу напружено-деформованого стану просторових конструкцій, що мають у своїй конструкції багато елементів. МСЕ - це сучасний чисельний метод рішення диференціальних рівнянь, який є досить поширеним. Він широко застосовується для вирішення завдань механіки руйнування та деформованого твердого тіла, визначення напружено-деформованого стану металоконструкцій вантажопідйомних машин.

Також, він досить часто застосовується для вирішення завдань оптимізації конструкцій деталей машин, елементів металоконструкцій ПТМ [6-8]. Широкого розповсюдження МСЕ отримав завдяки значному розвитку CAD/CAE систем.

Мета дослідження.

Зазначена проблема дозволяє сформулювати наступне завдання: розробка розрахункової схеми та 3D моделі колони порталного крану «Кондор» для реалізації методу скінченних елементів у середовищі CAD/CAE системи, аналіз напружено-деформованого стану її елементів.

Основний матеріал дослідження.

Портальні крани є досить поширеними вантажно-розвантажувальними машинами портових перевантажувальних комплексів. Вони використовуються для роботи зі штучними і навалювальними вантажами, виконання складальних робіт, а також будівельно-монтажних робіт. Однією з таких машин є порталний кран «Кондор» (рис. 1), виробництва Німеччини (завод VEB Kranbau Eberswalde). Також можна назвати і інших відомих виробників порталних кранів – Маріупольський завод Азовмаш, Ganz (Угорщина), Liebherr, завод будівельних машин VEB Baumechanik, Takraff (Німеччина), підприємства Bleichert, Kopescranes (Фінляндія), заводи АТ «ПОДЪЕМТРАНСМАШ» і «Сибтяжмаш», та ін. Незважаючи на значний досвід виготовлення і проектування порталних кранів, результати обстежень кранів і аналіз експлуатації показали, що дефекти в елементах металоконструкції з'являються у відносно нових (близько 20 років) порталних кранів.

На кафедрі «Підйомно-транспортних машин і деталей машин» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (м. Маріуполь) протягом останніх років вирішено багато важливих завдань проектування елементів металоконструкції і обладнання порталних кранів, зменшення рівня напруженості елементів металоконструкції, силового і міцнісного розрахунків, параметричного та структурного синтезів. Під час виконання зазначених завдань використовувався МСЕ із застосуванням сучасних CAD/CAE систем. Переважно, на сьогодні в проектуванні металоконструкцій, зокрема при їх міцнісному розрахунку,

використовуються програмні комплекси, такі як NX, Ansys, Nastran, SCAD, Solid Works, Ліра та інші.

Усі вони у своїй основі реалізують класичні методи розрахунку конструкцій на основі МСУ. Більшого застосування вони отримали з розвитком обчислювальної техніки. Також, на підприємствах використовуються CALS-системи, які дають змогу автоматизувати процеси, що пов'язані з життєвим циклом виробу, який включає в себе етапи та стадії проектування, підготовку та безпосередньо виробництво, експлуатацію виробу та його подальшу утилізацію після завершення експлуатації.

Неможливо представити оптимізаційний пошук для найбільш навантаженої ділянки або вузлу металоконструкції, який визначає її надійність, без якісного аналізу напружено-деформованого стану усїєї системи та чіткого розуміння фізичних процесів, які протікають під час роботи конструкції. У цей час стає можливим пошук деякої структури, внаслідок чого повинна бути отримана оптимальні форма та геометричні параметри кожного з її елементів в межах заданого рівня навантаженості. З нашої точки зору, такі дослідження доцільно проводити на базі просторових твердотільно-деформованих 3D комп'ютерних моделей, розроблених у середовищі спеціальних сучасних програмних комплексів CAD/CAE та їхнього інструментарію з виконання топологічної оптимізації.

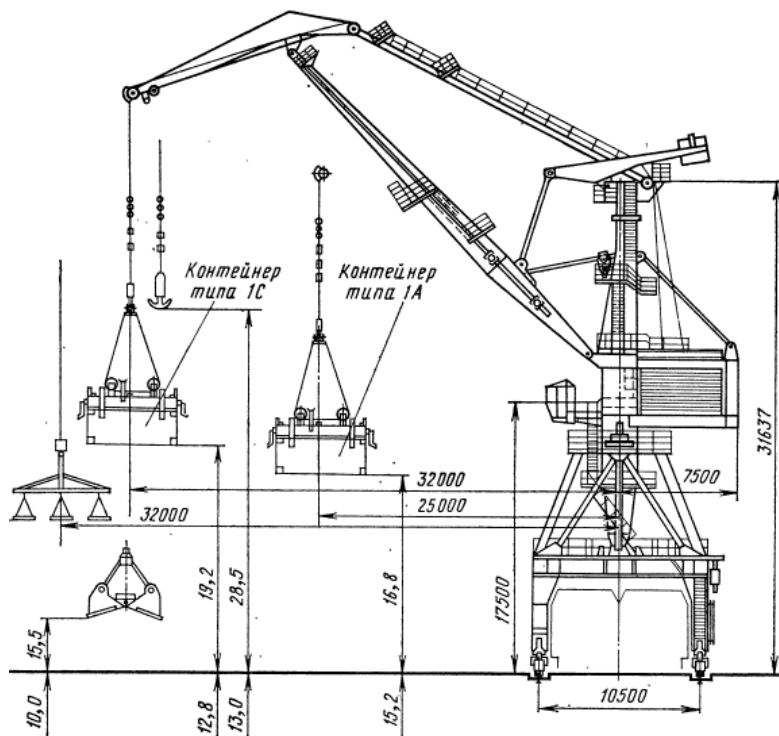


Рисунок 1 – Портальний кран «Кондор»

Вже було представлено методику [7] проведення аналізу напружено-деформованого стану циліндричної колони портального крану, запропоновано розрахункову схему. За цією методикою, для реалізації розрахунку з використанням МСЕ, за оригінальними кресленнями заводу-виробника розроблено модель колони портального крану «Кондор» (рис. 2).

Машинобудування і зварювальне виробництво

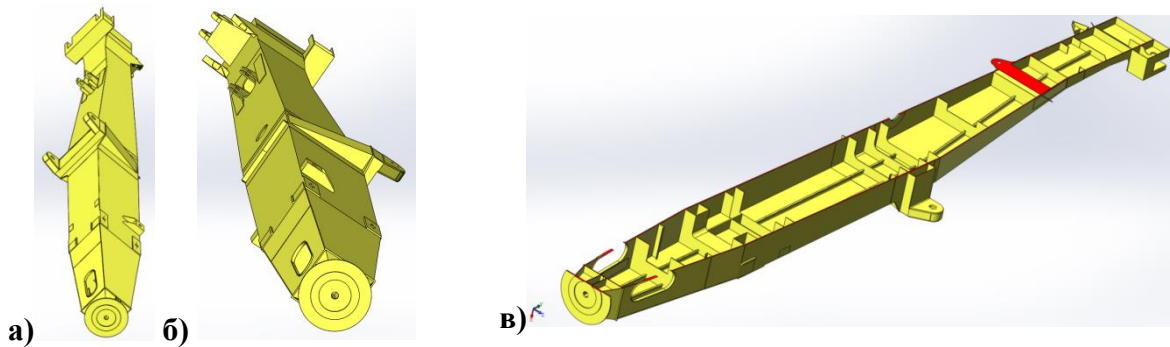


Рисунок 2 – Модель колони: а, б - загальний вигляд; в – переріз

Надалі було прийнято розрахункову схему, де враховані сили від кожного елемента крана (стріла, відтяжка, рейка, противага, кабіна та інші), які закріплені на колоні (рис. 3). Відомості та значення прикладених сил наведені у таблиці 1.

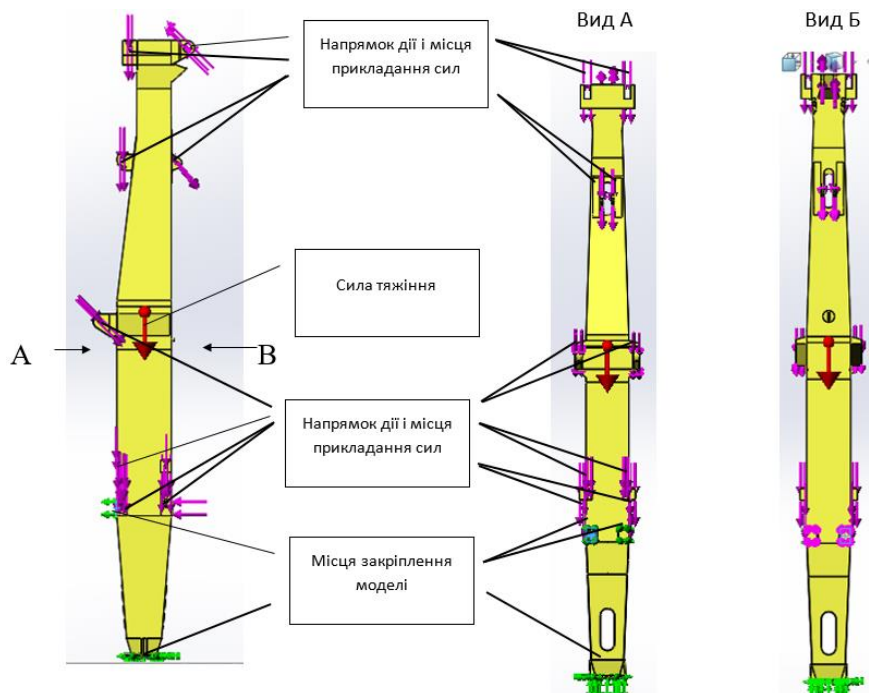
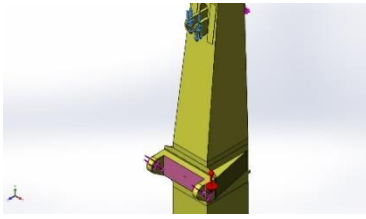
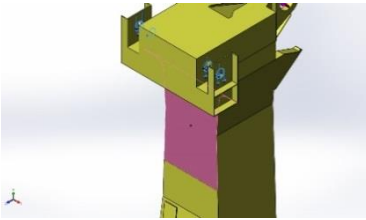
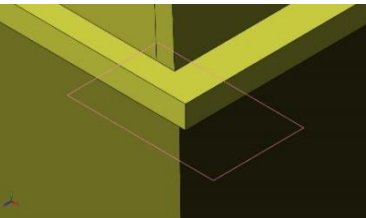
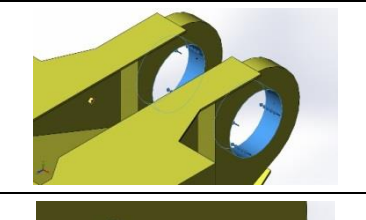
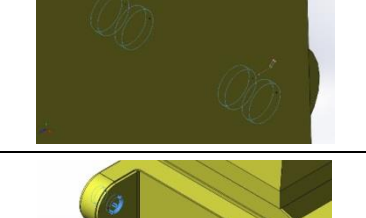
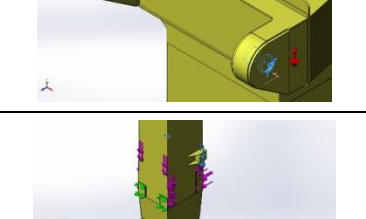

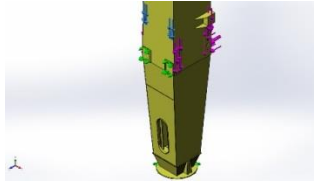
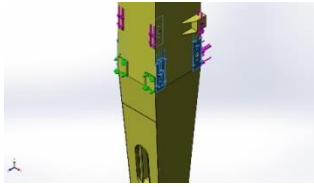
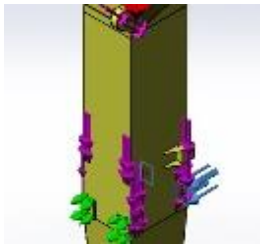


Рисунок 3 – Розрахункова схема

Таблиця 1 – Відомості про прикладені сили

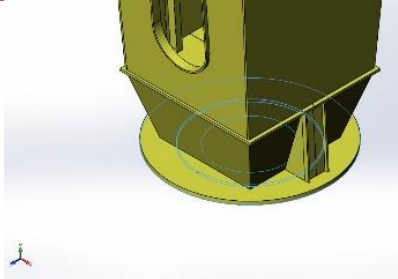
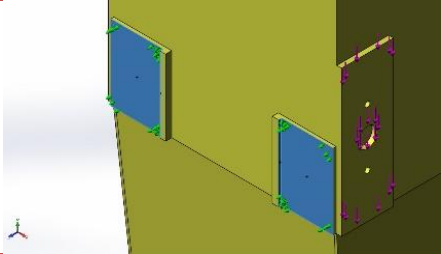
Ім'я сили	Місця прикладання сили	Дані про силу
Сила-1		Об'єкти: 2 грані Довідкова: Грань< 1 > Тип: Прикласти силу Значення: -323500, --- N
Сила -2		Об'єкти: 4 грані Довідкова: Грань< 1 > Тип: Прикласти силу Значення: -1.20484e+006, --- N
Сила тяжіння -1		Довідкова: Зверху Значення: 0 0 -9.81 Одиниці виміру: SI
Сила-3		Об'єкти: 2 грані Довідкова: Грань< 1 > Тип: Прикласти силу Значення: 1.55239e+006 N
Сила-4		Об'єкти: 4 грані Тип: Прикласти силу Значення: -278600 N
Сила-5		Об'єкти: 4 грані Тип: Прикласти силу Значення: -1.509e+006 N
Сила-6		Об'єкти: 4 грані Довідкова: Кромка< 1 > Тип: Прикласти силу Значення: 530505 N

Продовження таблиці 1

Сила-7		Об'єкти: 2 грані Довідкова: Кромка< 1 > Тип: Прикласти силу Значення: 12700 N
Сила-8		Об'єкти: 4 грані Довідкова: Кромка< 1 > Тип: Прикласти силу Значення: 79850 N
Сила-9		Об'єкти: 2 грані Тип: Прикласти нормальну силу Значення: 3120 N

Згідно з конструкцією крана модель була закріплена (таблиця 2): жорстко в нижній частині - в місці установки під'ятника і рухливо в середній частині - в місці установки катків опорно-поворотного пристрою (рисунок 4).

Таблиця 2 – Відомості про закріплення

Ім'я кріплення	Місця кріплення	Ці кріплення
Зафіксований-1		Об'єкти: 3 грані Тип: Зафіксована геометрія
Ролик/повзун-1		Об'єкти: 4 грані Тип: Ролик/повзун

У середовищі CAD/CAE системи побудовано «сітку скінченних елементів» (рис. 5).

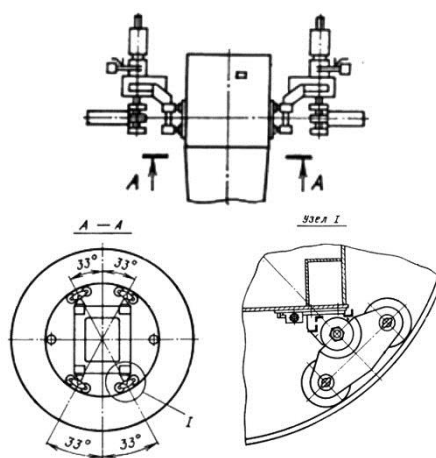


Рисунок 4 – Опорно-поворотний пристрій крана «Кондор»

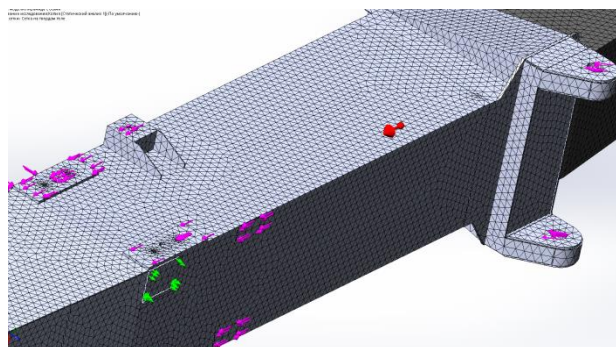


Рисунок 5 – Сітка скінченних елементів (фрагмент)

У результаті моделювання навантаженого стану були отримані епюри розподілу еквівалентних напружень у моделі (рис. 6), епюри нормальних напружень у трьох площинах, епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності, епюра направленості силових потоків, епюра розподілу еквівалентних напружень (von Mises) із застосуванням обмеження ISO.

Як видно з епюри (рис. 6), напруження в конструкції розподілені досить нерівномірно, максимальні значення еквівалентних напружень становлять більше 180 МПа. Отримані результати моделювання навантаженої колони та результати розрахунку МСЕ потребують подальшого детального аналізу та дослідження. Моделювання напружено-деформованого стану колони порталного крана «Кондор» під час роботи та його аналіз, дозволяють стверджувати, що напруження розподілені досить нерівномірно. Напружено-деформований стан елементів колони є досить складним, оскільки в одному елементі в різних площках виникають, як напруження стискування, так і напруження розтягнення. Навантаженість та напружено-деформований стан елементів колони потребують подальших досліджень.

Машинобудування і зварювальне виробництво

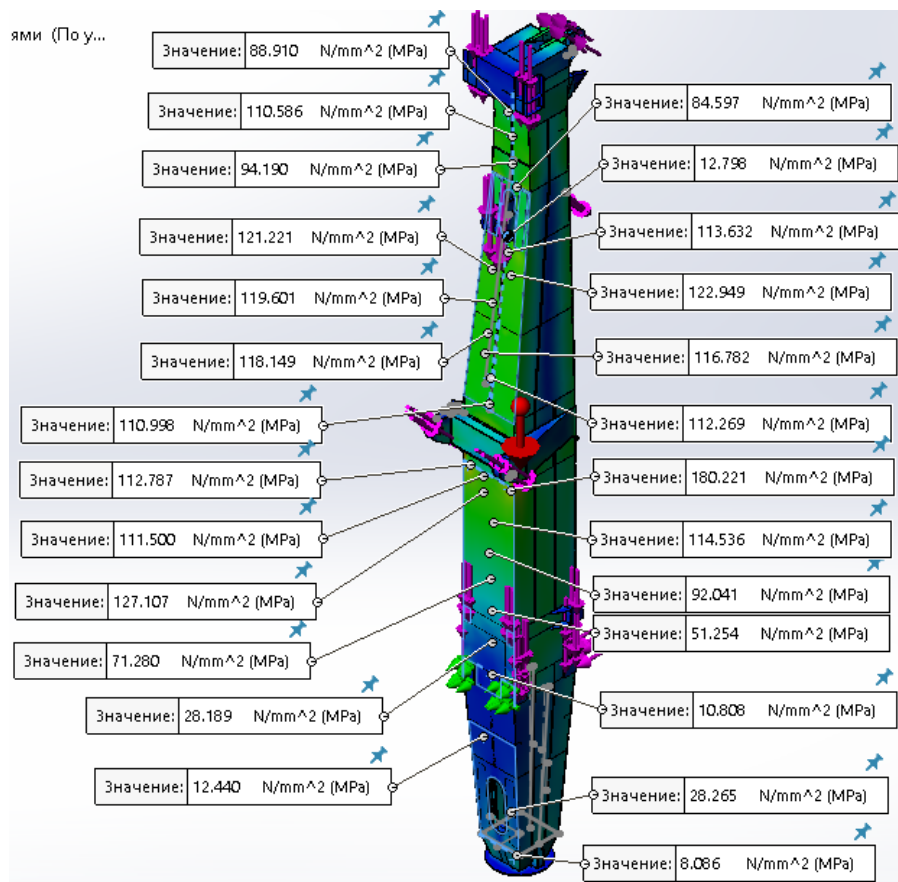


Рисунок 6 – Епюра розподілу еквівалентних напружень у моделі

Застосування різних методів розрахунків на міцність потребує певної методології їх застосування, що у поєднанні із сучасними комп'ютерами та програмним CAD/CAE забезпеченням дозволить проводити якісні дослідження та аналіз напружено-деформованого стану елементів та металоконструкцій ВПМ. Це, у свою чергу, дозволить розробляти оптимізовані конструкції, застосовувати сучасні програмні комплекси з оптимізації деталей та конструкцій, використовувати елементи біонічного дизайну та адитивних технологій.

ВИСНОВКИ

1. Подальших розвитку та уточнення потребують існуючі на сьогодні методи проектування металоконструкцій, оскільки вони не завжди дозволяють отримати чітку картину напружено-деформованого стану металоконструкції у цілому. Розробка оптимізованої методики проектування металоконструкцій, зокрема порталних кранів, на базі сучасних CAD/CAE систем, які реалізують розрахунки на міцність МСЕ, є актуальним науково-технічним завданням.

2. Отримані результати розрахунків показали, що напруження в конструкції колони розподілені досить нерівномірно, максимальні значення еквівалентних напружень становлять більше 180 МПа.

3. Невирішеними залишаються ще багато завдань оптимального проектування металоконструкцій порталних кранів, які включають: вибір оптимальних геометричних

Машинобудування і зварювальне виробництво

параметрів і форми елементів конструкцій, які відповідають їх функціональному призначенню; забезпечення плавності силового потоку, рівномірного розподілу напружень.

Перелік використаних джерел:

1. *Лагерев, И. А.* Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин / *И. А. Лагерев, А. В. Лагерев* – Брянск : Изд-во БГТУ, 2013. – 228 с.
2. *Башин, К. А.* Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли / *К. А. Башин, Р. А. Торсунов, С. В. Семенов* // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 51. – С. 51–61.
3. *Назаренко, С. А.* Разработка технологии оптимизации нагруженных многокомпонентных конструкций и технологических систем [Электронный ресурс] / *С. А. Назаренко*. – 2016. – 35 с. – Режим доступа: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22751>
4. *Григоров, О. В.* Металеві конструкції підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин : навч. посіб. / *О. В. Григоров, Г. О. Аніщенко, Н. О. Петренко*. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 516 с.
5. *Лагерев, И. А.* Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов: монография / *И. А. Лагерев*. – Брянск : Изд-во БГТУ, 2013. – 116 с.
6. *Гребенюк, Г. И.* Основы расчета и оптимизации конструкций с использованием метода конечных элементов / *Г. И. Гребенюк, Б. Н. Попов, Е. В. Яньков*. – Новосибирск: [б. и.], 1992. – 96 с.
7. *Сагиров, Ю. Г.* Уточненный метод анализа напряженно-деформированного состояния колонны порталного крана / *Ю. Г. Сагиров* // Передовые научные разработки : Междунар. научно-техн. конф. (Прага 27 августа – 05 сентября 2012 г.). – Прага, 2012. – Т. 11 : Технические науки. Технология и спорт. – С. 38–40.
8. *Сагиров, Ю. Г.* Анализ конструкции мостовых кранов на ЭВМ / *Ю. Г. Сагиров, В. В. Суглобов, А. Н. Катков* // Университетская наука - 2007 : тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 23–25 мая 2007 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2007. – Т. 2. – С. 55.

Сагиров Ю. Г., Суглобов В. В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ И АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛОННЫ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА «КОНДОР»

Несущие металлоконструкции являются наиболее ответственными и дорогостоящими элементами грузоподъемных кранов. В процессе их проектирования особенно тщательно выполняется анализ возможных режимов нагружений и соответствия требованиям по статической и усталостной прочности, жесткости и др. Отмечено, что именно для несущих металлоконструкций оптимизационный подход к проектированию является наиболее эффективным, так как даже относительно небольшое снижение их веса и габаритов приводит к существенной экономии материальных, трудовых и финансовых ресурсов, необходимых для изготовления и эксплуатации подъемно-транспортной техники.

Целью данной работы является моделирование нагруженности колонны порталного крана «Кондор» и анализ фактического напряженно-деформированного состояния ее

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>

Машинобудування і зварювальне виробництво

элементов. Объектом исследования является закономерность распределения напряжений в элементах колонны. В статье предложена методология моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния колонны порталного крана, основанная на методах прочностных расчетов по допускаемым напряжениям и методе конечных элементов. Разработана расчетная схема, твердотельно-деформированная модель и выполнен расчет методом конечных элементов в CAD/CAE системе.

Полученная закономерность распределения напряжений в элементах колонны наглядно показала, что напряжения распределены неравномерно; напряженно-деформированное состояние элементов колонны является достаточно сложным и требуют дополнительных исследований.

Ключевые слова: порталный кран, колонна, металлоконструкция, пространственная модель, расчетная схема, метод конечных элементов, критерии.

Sahirov Y., Suglobov V.

MODELING OF LOADING AND ANALYSIS OF A STRESSED-DEFORMED STATE OF THE KOLON THE PORTAL CRANE «KONDOR»

Bearing steel structures are the most responsible and expensive elements of cranes. In the course of their design, the analysis of possible modes of loading and compliance with the requirements for static and fatigue strength, stiffness, and more is carried out especially carefully. It is noted that the optimization approach to design is most effective for bearing metal structures, since even a relatively small reduction in their weight and dimensions leads to significant savings in material, labor and financial resources required for the manufacture and operation of loading and lifting equipment.

The current state and prospects for the optimal design of metal structures are inherently associated with the use of modern CAD / CAE systems, which make it possible to find the best design solutions at the initial design stages by applying topological optimization. However, today there are not many scientific recommendations for the development and construction of three-dimensional models of cranes.

From our point of view, the optimization of the design of metal structures for cranes should be based on the use of FEM and modern CAD / CAE systems. The basis of the optimization of metal, in particular, by the criterion of mass capacity, can be topological optimization. However, we believe that the objective use of these methods is impossible without the use of analytical calculations based on well-known engineering methods of crane design.

The goal of this work is to simulate the loading of the portal crane «Condor» and analyze the actual stress-strain state of its elements. The object of the study is the pattern of stress distribution in the elements of the column. The article proposes a methodology for modeling and analysis of the stress-strain state of a portal crane column, based on the methods of strength calculations for allowable stresses and the finite element method. A design scheme, a solid-deformed model was developed, and a finite-element calculation was performed in a CAD / CAE system.

The resulting pattern of distribution of stresses in the elements of the column clearly showed that the stresses are unevenly distributed; the stress-strain state of the elements of the column is rather complicated and requires additional research.

Keywords: portal crane, metal construction, spatial model, column, design scheme, finite element method, synthesis, criteria.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Іщенко А. О.

Стаття надійшла 20.02.2019 р.

Режим доступу: <http://sap.pstu.edu>

УДК 616.71-001.5

Величко В. О., Кусяк С. Г., Сорочан О. М., Шайко-Шайковський О. Г.

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ПОБУДОВА ДІЮЧОЇ МОДЕЛІ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ОПЕРАТОРСЬКОГО КРАНА

В роботі розглянуто процес розробки конструкції та проектування діючої моделі операторського крана, принцип його побудови, окремих елементів та вузлів, їх взаємозв'язок. Використання спроектованої та виготовленої установки може бути корисним та ефективно використовуватися не тільки в теле- та радіостудіях, але також і в медичних установах при демонстрації різного роду оперативних втручань в хірургічних операціях, травматології, офтальмології, стоматології, гінекології тощо, коли виникає необхідність демонструвати деталі та елементи проведення медичної операції широкому колу студентів та глядачів, які не можуть бути присутніми в операційній в силу великої кількості чинників.

Фізичне та моральне старіння апаратури й обладнання навчальних і наукових лабораторій в навчальних закладах всіх рівней акредитації, необхідність модернізації та оновлення застарілої матеріально-технічної бази у відповідності із вимогами часу висувають на порядок денний актуальність проектування, розробки, виготовлення нового обладнання у разі неможливості його закупівлі за кордоном по причині обмеженості бюджетів та відсутності коштів. Знос та старіння обладнання теле- та кіностудій, різке та суттєве підвищення ціни на імпорتنі конструкції та устаткування, відсутність власних виробників диктують також важливість та актуальність створення власноруч відповідної спеціалізованої техніки. Виробництво такої установки можливо налагодити в умовах багатьох підприємств, де є в наявності ділянка для метало обробки. Використання розробленої конструкції операторського крана буде доцільним та економічно вигідним в умовах навчальних лабораторій та закладів, медичних та лікарських установ, промислових підприємств.

Ключові слова: *операторський кран, попередньо напружена конструкція, демпфер.*

Фізичне та моральне старіння апаратури й обладнання навчальних і наукових лабораторій в навчальних закладах всіх рівней акредитації, необхідність модернізації та оновлення застарілої матеріально-технічної бази у відповідності із вимогами часу висувають на порядок денний актуальність проектування, розробки, виготовлення нового обладнання у разі неможливості його закупівлі за кордоном по причині обмеженості бюджетів та відсутності коштів. Знос та старіння обладнання теле- та кіностудій, різке та суттєве підвищення ціни на імпорتنі конструкції та устаткування, відсутність власних виробників диктують також важливість та актуальність створення власноруч відповідної спеціалізованої техніки. Одним із дуже важливих видів конструкцій, необхідним для створення сучасних фільмів, репортажів є операторський кран, який являє собою досить довгу вежу, що може обертатись у горизонтальній площині, а також – здійснювати повороти та заплановані зміни положення у вертикальній площині, керуватись така конструкція повинна дистанційно, оскільки присутність оператора в таких випадках не завжди можлива, а в деяких – небажана. На одному кінці корпусу операторського крана розташована рухома поворотна відеокамера, а на другій, більш вузькій – знаходиться противага, яка врівноважує довгу робочу частину конструкції.