

УДК 621.873

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

**М.П. Колісник, професор, к.т.н., Г.В. Заяць, доцент, к.т.н.,  
Придніпровська державна академія будівництва і архітектури,  
м. Дніпропетровськ**

*Анотація.* Використання числових методів при розрахунках вантажопідйомних машин дає можливість оптимізувати їх конструкцію на багатокритеріальній основі.

*Ключові слова:* кран, конструктивний параметр, опорно-поворотне коло, коефіцієнт запасу, напруження, кінцевий елемент, напружено-деформований стан.

## ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РАСЧЁТАХ ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ МАШИН

**Н.П. Колесник, профессор, к.т.н., Г.В. Заяц, доцент, к.т.н.,  
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры  
г. Днепропетровск**

*Аннотация.* Использование численных методов при расчётах грузоподъёмных машин даёт возможность оптимизировать их конструкцию на многокритериальной основе.

*Ключевые слова:* кран, конструктивный параметр, опорно-поворотный круг, коэффициент запаса, напряжение, конечный элемент, напряжённо-деформированное состояние.

## SUBSTANTIATING THE USE OF NUMERICAL METHODS IN CALCULATIONS FOR HOISTING MACHINES

**N. Kolesnyk, Professor, Candidate of Engineering Sciences,  
G. Zayats, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,  
Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture, Dnipropetrovsk**

*Abstract.* The use of numerical methods for hoisting machines enables optimization of their design on the multi-criterion basis.

*Key words:* crane, design factor, turntable, assurance coefficient, stress, finite element, deflected mode

### Вступ

Вантажопідйомний кран, з філософської точки зору, як будь-яка складна машина, являє собою набір компромісів в їх взаємодії. В силу цього розрахунок конструктивних параметрів вузлів та агрегатів з використанням класичних методів викликає необхідність введення припущень. Це, в свою чергу, спричиняє наявність значних похибок, які компенсують введенням коефіцієнтів запасу.

### Аналіз публікацій

Числові методи розрахунку (метод кінцевих елементів) широко відомі, а особливості їх використання детально описано в літературних джерелах [1, 2]. Але для отримання адекватних результатів необхідне розв'язання ряду специфічних задач.

### Мета і постановка задачі

Обґрунтування використання числового методу розрахунку конструктивних параметрів

опорно-поворотного кола (ОПК) вантажопідйомного крана для визначення можливості його відновлення.

### Матеріали та результати досліджень

Вживані методи визначення показників міцності таких деталей машин, як ОПК і стандартні підшипники, мають багато спільного. Проте через особливості конструкції методи визначення конструктивних параметрів стандартних підшипників не можуть бути повністю використані при визначенні значень конструктивних параметрів ОПК. Відсутність досконалої методики визначення конструктивних параметрів ОПК приводить до того, що вони мають значні за величиною коефіцієнти запасу міцності. Також слід вказати, що

ОПК – це єдиний вузол, що з'єднує поворотну і неповоротну частини машини, сприймає всі види навантажень від поворотної частини та передає до неповотної. Крім того, самі ОПК – металоємні вузли високої складності і відносно високої вартості, від яких залежить безпека експлуатації, надійність і довговічність вантажопідйомної машини в цілому.

Одним з найширше вживаних програмних продуктів, що дозволяють виконувати розрахунки сталевих конструкцій на міцність, є сертифікований у встановленому порядку програмний комплекс SELENA, в основу якого закладено числовий метод – метод кінцевих елементів (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема програми SELENA

Виконання розрахунків із застосуванням програми SELENA проводиться поступально-поворотним методом в декілька послідовних етапів, відповідно до приведеної на рис. 1 блок-схеми і рекомендацій до використання програми.

Значна частина підготовчих робіт із визначення напружено-деформованого стану кілець є ноу-хау авторів. Результати моделювання елементів крана, в їх взаємодії, в середовищі програмного забезпечення SELENA дозволили перейти від натурної моделі до математичної, що найбільш відповідає реальній, а результати розрахунків конструктивних параметрів підтвердили можливість відновлення ОПК і підвищення його ресурсу в 1,5–1,7 раза.

Згідно з дослідженнями [3], запас міцності кілець підшипників досягає двадцятикратного і більше значення при п'ятикратному запасі міцності тіл кочення. Тому при конкретному габариті підшипника слід прагнути до максимального збільшення діаметрів тіл кочення в межах технологічно припустимого стоншування стінок кілець, яке обмежує їх несучу здатність, а отже, і ОПК в цілому. При цьому запас міцності кілець може бути виражений як добуток

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3, \quad (1)$$

де  $n_1$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь достовірності визначення зусиль і напружень;  $n_2$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь однорідності механічних властивостей матеріалу деталі й умов її виготовлення;  $n_3$  – коефіцієнт, що характеризує підвищення міцності з міркувань безпеки.

Кожне значення  $n_i$ , що входить у запас міцності, розглядається з певним ступенем вірогідності, а сама величина  $n_i$  підкоряється закону статистичного розподілу.

Таким чином, величина загального запасу міцності кілець підкоряється статистичному розподілу і дорівнює додатку вірогідності розподілів кожного із складових. Оскільки даних про розподіл значень окремих  $n_i$ , як правило, недостатньо, то використовують їх як добуток

$$(n_1)_{\max} \cdot (n_2)_{\max} \cdot (n_3)_{\max}, \quad (2)$$

а не максимум від їх добутків

$$\max(n_{1i} \cdot n_{2i} \cdot n_{3i}), \quad (3)$$

що, у результаті, призводить до значних коефіцієнтів запасу, оскільки з високою вірогідністю можна припустити, що

$$\max(n_{1i} \cdot n_{2i} \cdot n_{3i}) \leq \left[ (n_1)_{\max} \cdot (n_2)_{\max} \cdot (n_3)_{\max} \right]. \quad (4)$$

Розглянемо інтенсивність зміни міцності кілець опорно-поворотного кола у зв'язку із запропонованим авторами способом відновлення значень конструктивних параметрів ОПК [4].

Оскільки коефіцієнти запасу міцності нових кілець ОПК мають достатньо високі значення, то прогнозована інтенсивність зміни напружень у перетині кілець ОПК, з урахуванням можливого відновлення, може бути представлена графічними залежностями  $\sigma = f(t_i)$  (рис. 2).

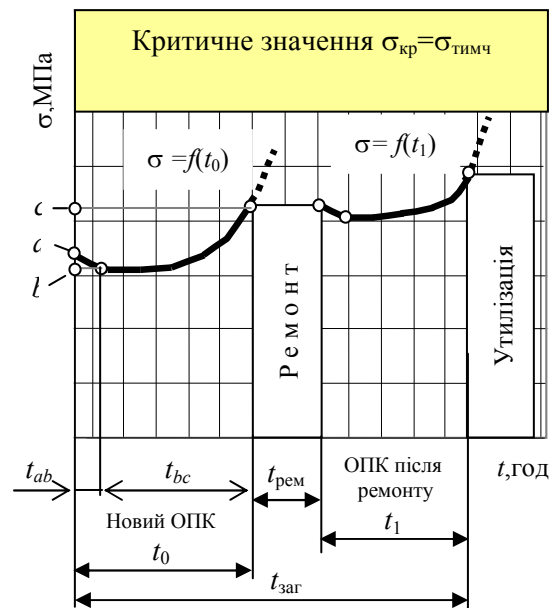


Рис. 2. Графічні залежності

Припустимо, що для ОПК, який не знаходився в експлуатації, напруження в перетинах кілець складають величину  $a$ . Зі зростанням напруцювання на ділянці  $t_{ab}$  відбувається припрацювання деталей ОПК, що призводить до зниження напружень до значення  $b$ . На ділянці  $t_{bc}$ , що є періодом нормальної експлуатації ОПК, спостерігається спочатку

плавне, потім інтенсивне зростання напружень. Досягнувши значення, позначеного крапкою  $s$ , напруження в кільцях і осьовий зазор ОПК відповідатиме гранично допустимим значенням.

При експлуатації ОПК після ремонту зі збільшеними значеннями діаметрів кульок інтенсивність зміни напружень у перетинах кілець зростатиме. Абсолютні значення напружень будуть дещо вище, за рахунок зменшення площі поперечних перетинів кілець, у зв'язку зі встановленням тіл кочення збільшеного (ремонтного) розміру. Проте після напрацювання  $t_1$  напруження в перетині кілець досягнуть верхніх значень, за при яких забезпечуватиметься нижня межа коефіцієнта запасу міцності. Подальше проведення ремонту є неприпустимим, і ОПК підлягає утилізації. Таким чином, прогнозоване загальне сумарне напрацювання опорно-поворотного кола, з урахуванням можливого його відновлення, складе

$$t_{\text{заг}} = t_0 + t_1 - t_{\text{рем}}, \quad (5)$$

де додатково  $t_{\text{рем}}$  – тривалість проведення ремонту ОПК, коли коло не використовується за прямим призначенням.

Оскільки  $\sigma = f(t_i)$ , де  $t_i$  – очікуване додаткове напрацювання ОПК, то інтенсивність зміни напружень є пропорційною інтенсивності зміни напрацювання: зі збільшенням напрацювання зростає напруження в деталях ОПК.

Використання класичних методів розрахунку несучих елементів ОПК – кілець (при розрахунках їх представляють у вигляді замкнутого в кільце великого діаметра криволінійного бруса малого перетину) надає результати із загальною похибкою близько 40 %, які не можуть бути використані при відновленні ОПК.

У зв'язку з відсутністю достатнього статистичного матеріалу з визначення напрацювання і високою складністю визначення напружень у кільцях ОПК, при виконанні вимірів геометричних розмірів перетинів кілець на натурних зразках єдиним значущим параметром, що обмежує напрацювання кіл в експлуатації, є значення осьового зазору. Таким чином, основним параметром забезпечення

несучої здатності ОПК є напружено-деформований стан його кілець, який може бути визначений за допомогою спеціального комп'ютерного забезпечення.

### Висновки

1. Використання числових методів дозволяє виконувати комплексні розрахунки вантажопідйомних машин на багатокритеріальній основі.
2. Результати розрахунків дозволяють оптимізувати конструктивні параметри деталей, вузлів та агрегати вантажопідйомних машин за рахунок обґрунтованого зниження коефіцієнтів запасу.
3. Реалізація результатів розрахунків з використанням числових методів дозволяє підвищити такі показники надійності вантажопідйомних машин, як ресурс, напрацювання на відмова тощо.

### Література

1. David V. Hutton Fundamentals of Finite Element Analysis / V. David.-McCraw-Hills Companies, 2004.– 494 p.
2. Сабоннадьер Ж.-К. Метод конечных элементов и САПР / Ж.-К. Сабоннадьер, Ж.Л. Кулон.; пер с франц. В.А. Соколова, М.Б. Блеер. – М.: Мир, 1989. – 190 с.
3. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер; под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 560 с.
4. Пат. 18311 Україна, МПК В66С 23/84 (2006.01). Спосіб ремонту опорно-поворотних кругів баштових кранів / Заяць Г.В., Волчок Л.М., Руднев І.Ю., Революк А.В. ; заявник та патентовласник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.– № u 200603314; заявл. 27.03.06; опубл. 15.11.2006. Бюл. № 11.

Рецензент: О.В. Григоров, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 30 травня 2012 р.