РАЗДЕЛ XVII. ФИЗИКА

Абдулмажидов Х.А.

Исследования прочности конструкций машин природообустройства при уточненном расчете с учетом колебаний температуры

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева»
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-12-2018-155

idsp: ljjournal-12-2018-155

Аннотация

В статье представлены исследования прочности конструкций машин природообустройства методом конечных элементов с учетом колебаний температуры. Рассмотрен уточненный расчет детали с изменением температуры. Такое исследование соответствует проведению двухфакторного эксперимента с получением уравнения регрессии. Отмечено, что запас прочности может оказаться значительно ниже при рассмотрении конечных элементов с минимальными размерами. Изменение температуры в определенном диапазоне также уменьшает запас прочности. Определена целевая функция и коэффициенты уравнения регрессии. Расчеты проведены с использованием компьютерной программы Компас.

Ключевые слова: запас прочности, размеры конечных элементов, разработка деталей машин, двухфакторный эксперимент, влияние температуры на прочность детали, анализ напряженности, проектирование и расчет деталей машин в системе Компас

Abstract

This article presents a study of durability of constructions machinery management for the finite element method, taking into account fluctuations in temperature. Considered a refined calculation details with temperature change. This study corresponds to conduct the two-factor experiment with getting the regression equation. Noted that the margin of safety may be significantly lower when considering finite element with minimum dimensions. To change the temperature in a range also reduces the margin of safety. Defined the objective function and the coefficients of the regression equation. Calculations carried out using computer program Compass.

Keywords: factor of safety, finite element, development dimensions of machine parts, two-factor experiment, the effect of temperature on the strength of the details, analysis of tension, design and calculation of machine components in a system-compass

Прочность конструкций машин природообустройства, к которым относятся мелиоративные и строительные машины, зависит от многих факторов. Одним из наиболее важных факторов, влияющих на запас прочности является температура самой детали или конструкции, или окружающей среды. Исследования влияния температуры на запас прочности проведены в работах [1, 2]. Метод конечных элементов, используемый в компьютерных программах для анализа напряжений позволяет в достаточной мере судить о запасе прочности деталей строительных и мелиоративных машин, однако сложно оценить возможность эксплуатации элементов и узлов при переменных параметрах, влияющих на целевую функцию. В настоящей статье в качестве исследуемой целевой функцией принят запас прочности, а основными параметрами, влияющими на запас прочности при проведении расчета использованием

компьютерных программ – изменение размеров конечных элементов (тетраэдров) и колебания температуры [3, 4].

Наличие двух переменных параметров обуславливает проведение исследований по схеме полного факторного эксперимента ПФЭ с двумя факторами 2^n , где n – количество факторов. Каждый из двух факторов – размеры конечных элементов и температура детали, могут принимать только два крайних значения – верхний уровень и нижний уровень. В процессе исследований рассматриваются все возможные комбинации факторов (параметров), влияющих на целевую функцию. В отличие от однофакторного эксперимента, двухфакторный позволяет оценивать параметры простым решением систем уравнений и имеет минимальное, но достаточное количество измерений с уменьшением влияния погрешностей при измерении на оценку целевой функции.

Если рассматривать прочностной расчет детали, работающей под нагрузкой в изменяющемся температурном режиме, методом конечных элементов, то можно получить определенную математическую модель с конкретными численными значениями параметров [5, 6]. Исходными данными для формирования модели могут быть результаты теоретических или экспериментальных исследований, которые получены посредством опытов, проведенных по определенному плану. В качестве основных факторов, влияющих на запас прочности в данном конкретном исследовании, приняты размеры конечных элементов l (мм) и температура детали $T^{\circ}\text{C}$.

Математическая модель исследуемой системы может иметь вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n,$$

где $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$ – искомые индексы (коэффициенты) модели, y – запас прочности, x_1 – размеры конечных элементов, x_2 – температура детали (конструкции). Определив коэффициенты модели, можно с определённой точностью предопределить значение целевой функции (а значит и поведение системы) в окрестностях точки. В определении значений коэффициентов заключается задача исследований.

Исходными данными для процесса исследования являются размеры конечных элементов 3 мм, температура детали 10°C , то есть $x_{1\text{C}} = 3$; $x_{2\text{C}} = 10$. Верхние и нижние уровни данных факторов при их симметричном расположении будут иметь следующие значения есть $x_{1\text{B}} = 4$; $x_{1\text{H}} = 2$; $x_{2\text{B}} = 15$; $x_{2\text{H}} = 5$. Основные теоретико-эмпирические исследования в настоящей работе выполнены с использованием компьютерного пакета Компас, который позволяет не только создавать объемные детали, но и проводить прочностные расчеты методом конечных элементов с учетом изменения размеров тетраэдров и колебаний температуры разрабатываемой конструкции [7, 8, 9]. Рассмотрен пример расчета элемента узла машины природообустройства. Элемент (деталь) представляет собой стальную балку прямоугольного сечения шириной 10, высотой 15 и длиной 150 мм. Деталь имеет две концевые опоры, а в средней части на квадратной площадке со стороной 10 мм прилагается нагрузка величиной 5000 Н. В таблице 1 представлены все возможные комбинации значений двух факторов и результаты исследований по изменению запаса прочности как целевой функции в системе Компас.

Таблица 1.

Возможные комбинации значений факторов и величина исследуемой функции

x_1	x_2	y
2	5	1,505496
2	15	1,754318
4	5	1,878883
4	15	2,116385

С учетом того, что линейная модель процесса исследования описывается функцией $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$, полученные результаты можно рассматривать как

систему четырех уравнений с двумя переменными и в конечном итоге представить в виде матрицы:

$$\begin{cases} a_0 + 2a_1 + 5a_2 = 1,505496 \\ a_0 + 2a_1 + 15a_2 = 1,754318 \\ a_0 + 4a_1 + 5a_2 = 1,878883 \\ a_0 + 4a_1 + 15a_2 = 2,116385 \end{cases} \quad \begin{matrix} 1 & 2 & 5 & 1,505496 \\ 1 & 2 & 15 & 1,754318 \\ 1 & 4 & 5 & 1,878883 \\ 1 & 4 & 15 & 2,116385 \end{matrix}$$

Второй и третий столбцы матрицы представлены значениями факторов эксперимента, четвертый столбец – значения целевой функции при тех или иных величинах воздействующих факторов, первый столбец представлен значениями свободного члена уравнений. Для упрощения решения системы уравнений элементы матрицы можно представить в виде единицы со знаком «-» или «+» соответственно для нижних и верхних уровней. В таком случае сумма второго и третьего столбцов равна нулю, а сумма четвертого столбца равна 7,255082. Сумма элементов первого столбца как номинала с положительным знаком равна 4. Таким образом свободный член системы уравнений a_0 будет равен 1,8137705. Любой другой коэффициент модели определяется изменением знаков в уравнениях, которое позволит получить единичные значения, после чего складываются все четыре уравнения. Таким образом $a_1 = 0,183$, $a_2 = 0,486$. На данном этапе линейная модель исследуемого процесса имеет вид $y = 1,8137705 + 0,183x_1 + 0,486x_2$.

При переходе от нормированных к ненормированным факторам с использованием выражения $a_0 = \tilde{a}_0 - \sum_{i=1}^n \tilde{a}_i \frac{x_{iB} + x_{iH}}{x_{iB} - x_{iH}}$ для исследуемого случая коэффициенты будут равны $a_0 = 0,29227705$, $a_1 = 0,183$, $a_2 = 0,0972$. В конечном итоге линейное уравнение имеет вид: $y = 0,29227705 + 0,183x_1 + 0,0972x_2$.

Запас прочности для конструкций, изготовленных из стали обычно находится в пределах от 1,5 до 2,0 [1], в этом смысле значения данного параметра по первым трем опытным значениям находится в допустимых пределах независимо от величин коэффициентов уравнения регрессии. Значение запаса прочности четвертого случая несколько выходит за рамки допускаемых значений, которое в определенной степени может повлиять на расход металла. В целом при проведении исследований прочности с учетом двух факторов: размеров конечных элементов сетки и температурного режима, дает более широкое представление о напряженном состоянии конструкций с возможным снижением запаса прочности в определенном диапазоне.

1. Костенко, Н.А. Сопротивление материалов / Н.А. Костенко, С.В. Балясникова, Ю.Э. Волошановская, М.А. Гулин, Е.М. Русанова, О.Н. Тихонова, В.П. Юматов. – М.: Издательство «Высшая школа», 2000. – С. 432.
2. Абдулмажидов, Х.А. Обоснование основных параметров и режимов работы ковшовых каналоочистительных машин для зоны осушения. – Дис. канд. техн. наук. – М.: МГУП, 2000 г.
3. Абдулмажидов, Х.А. Трехмерное моделирование элементов машин природо-обустройства в системе "AUTOCAD" / Х.А. Абдулмажидов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 280100 М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, ФГБОУ ВПО Московский гос. ун-т природообустройства. Москва, 2012.
4. Абдулмажидов, Х.А. Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х.А. Абдулмажидов, А.С. Матвеев // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2016. № 2 (72). С. 40-46.
5. Абдулмажидов, Х.А. Совершенствование рабочего оборудования каналоочистителя РР-303. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2011. №2 (47). – С. 58-60.
6. Абдулмажидов, Х.А. Уточненные прочностные расчеты рабочих органов машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х.А. Абдулмажидов, А.С. Матвеев // Международный технико-экономический журнал. 2018. № 3. С. 7-14.
7. Абдулмажидов, Х.А. Уточненный прочностной расчет элементов машин методом конечных элементов в системе Inventor Pro / Х.А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. 2018. Т. 39. № 3. С. 27-30.

8. Абдулмажидов, Х.А. Основные задачи конструирования и возможности ком-пьютерных программ при проектировании элементов наземных машин / Аб-дулмажидов Х.А. // Тенденции развития науки и образования. 2018. Т. 42. № 3. С. 43-45.
 9. Матвеев, А.С. Исследования изменения технического состояния экскаватора - погрузчика эо-2626, в зависимости от времени года / А.С. Матвеев // В сборнике: Техногенная и природная безопасность материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. СГАУ им. Н.И. Вавилова. 2017. С. 281-284.
-