

Подставив (17) в систему разностных уравнений (14), получим систему линейных алгебраических уравнений в виде

$$AU = b \quad (b = F_n). \quad (18)$$

К решению системы линейных алгебраических уравнений применяем метод прогонки [4].

Список литературы

- 1 Власов, В. З. Избранные труды / В. З. Власов. – М. : Наука. 1962–1964. – Т. I–III. – 1506 с.
- 2 Буриев, Т. Алгоритмизация расчета несущих элементов тонкостенных конструкций / Т. Буриев. – Ташкент : Фан, 1986. – 244 с.
- 3 Abdusattorov, A. Equations of motion and the formation of a difference scheme for calculating the conical part of shell structures / A. Abdusattorov, T. Yuldashev, N. Kh. Sabirov // The European Science Review. Austria. – 2017. – № 9–10. – P. 35–41.
- 4 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

УДК 531.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ КОЛЕСА ВЕЛОСИПЕДА

Н. А. АХРАМЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последние годы в Республике Беларусь наблюдается устойчивое развитие велосипедного движения и, в частности, велотранспорта. Этому способствует «Концепция развития велосипедного движения в Республике Беларусь» (Национальная велоконцепция), принятая 11 января 2018 года протоколом заседания Постоянной комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при Совете Министров Республики Беларусь. После этого во многих городах Беларуси были приняты свои концепции развития велосипедного движения. Например, Гомельский городской совет депутатов утвердил Концепцию развития велосипедного движения и средств персональной мобильности в городе Гомеле (Решение Гомельского городского совета депутатов от 02 апреля 2020 г. № 155). В связи с этим исследования в области безопасности и надежности велотранспортных средств являются актуальными.

Один из элементов диагностики велотранспортных средств – величина сопротивления вращению колеса велосипеда. Для описания закономерностей вращающегося колеса можно использовать уравнения динамики вращательного движения твердого тела. Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси записывается в виде [1–3]

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt},$$

где \vec{M} – момент силы, действующей на тело, относительно оси вращения; \vec{L} – момент импульса вращающегося тела относительно оси.

Если момент инерции не изменяется с течением времени, тогда с учетом того, что $\vec{L} = I\vec{\omega}$, получим

$$\vec{M} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = I\vec{\varepsilon},$$

где $\vec{\omega}$ – угловая скорость вращения; $\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение тела

Запишем это уравнение в скалярном виде

$$M = I\varepsilon,$$

где момент сил сопротивления вращению M представим в виде

$$M = M_0 + k\omega,$$

т. е. суммой некоторого постоянного момента и момента, зависящего от угловой скорости ω .

Так как угловое ускорение можно записать как вторую производную от угла поворота φ , а угловую скорость – как первую производную от угла поворота φ , то получаем дифференциальное уравнение вида

$$M_0 + k \frac{d\varphi}{dt} = I \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Последнее соотношение преобразуется к виду

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} - \frac{k}{I} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M_0}{I} \quad \text{или} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{d\varphi}{dt} - \frac{k}{I} \varphi \right) = \frac{M_0}{I}.$$

Интегрируя полученное соотношение, получим

$$\frac{d\varphi}{dt} - \frac{k}{I} \varphi = \int \frac{M_0}{I} dt \quad \text{или} \quad \frac{d\varphi}{dt} - \frac{k}{I} \varphi = \frac{M_0}{I} t + C.$$

Постоянную интегрирования C найдем из условия, что в начальный момент времени ($t = 0$) угловая скорость была равна $\omega = \omega_0$, а угол поворота $\varphi = 0$. Тогда с учетом того, что $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$, получим $\omega_0 = C$.

Подставив постоянную интегрирования C , получаем следующее уравнение:

$$\omega - \frac{k}{I} \varphi = \frac{M_0}{I} t + \omega_0. \quad (1)$$

Момент инерции колеса можно записать в виде

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4,$$

где I_1 – момент инерции обода колеса относительно оси вращения; I_2 – момент инерции покрышки колеса относительно оси вращения, I_3 – момент инерции велокамеры колеса относительно оси вращения; I_4 – момент инерции остальной части колеса относительно оси вращения.

Момент инерции твердого тела согласно определению [1–3]

$$I = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2,$$

где r_i – расстояние элемента массы Δm_i от оси вращения.

Из определения следует, что его величина пропорциональна массе и квадрату расстояния до оси вращения этой массы. Поэтому определяющий вклад в момент инерции будут давать моменты I_1 , I_2 и I_3 . Моментом I_4 можно пренебречь ввиду того, что элементы остальной части колеса (кроме обода, покрышки и велокамеры) имеют меньшую массу и расположены ближе к оси вращения. Следует отметить, что элементарные части обода, покрышки и велокамеры расположены приблизительно на одном расстоянии от оси вращения.

Таким образом, момент инерции колеса с достаточным приближением можно вычислить по формуле

$$I = m \frac{D^2}{4},$$

где m – масса колеса; D – диаметр покрышки колеса.

В выражении (1) величинами, подлежащими определению, являются M_0 и k . Величины φ (угол поворота) и t (время) можно найти экспериментально. Для этого можно произвести видеосъемку свободно вращающегося колеса до момента остановки. По положению какого-либо элемента на колесе (например, катафота) можно определять угол поворота. Просматривая кадры видеосъемки, можно установить зависимость угла поворота от времени для ряда моментов времени.

Угловую скорость ω в выражении (1) можно найти следующим образом. Надо рассмотреть два близких момента времени и определить угол поворота колеса. Таким образом, можно получить ряд значений угловой скорости ω :

$$\omega_1 = \frac{\varphi(t_1 + \Delta t_1) - \varphi(t_1)}{\Delta t_1}, \quad \omega_2 = \frac{\varphi(t_2 + \Delta t_2) - \varphi(t_2)}{\Delta t_2}, \quad \omega_3 = \frac{\varphi(t_3 + \Delta t_3) - \varphi(t_3)}{\Delta t_3} \quad \text{и так далее.}$$

Поэтому в выражении (1) все величины, кроме M_0 и k , можно определить экспериментально. Минимальное количество полученных уравнений должно равняться количеству неизвестных, т. е. двум. Большее количество позволит более точно определить неизвестные величины, можно, например, использовать метод наименьших квадратов.

Список литературы

- 1 Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 17-е изд., стер. – М. : Академия, 2008. – 560 с.
- 2 Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – 3-е изд., испр. – М. : Наука, 1990. – 624 с.
- 3 Шилыева, К. П. Физика. Краткая теория и задачи : пособие / К. П. Шилыева, И. О. Деликатная, Н. А. Ахраменко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 211 с.

УДК 620.174.21

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЕЙ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

А. В. БАБАЙЦЕВ, С. А. ШУМСКАЯ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Селективное лазерное спекание (СЛС) является востребованной аддитивной технологией, имеющей большую перспективу в авиационной и космической отраслях благодаря своей способности значительно снижать массу изделий, что порой имеет решающее значение в данных отраслях. Важными направлениями исследований являются разработка эффективных алгоритмов моделирования и оптимизации для металлической 3D-печати, а также методов контроля и компенсации возникающих деформаций.

В работе предложен вариант моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) прямоугольных образцов, выращенных методом СЛС из металлического порошка AlSi10Mg при различных режимах скорости и мощности лазера. В сочетании методов зондирующих отверстий, корреляции цифровых изображений и численного моделирования для решения обратной задачи и идентификации остаточного НДС исследуемых образцов приводится сравнение моделирования с экспериментальными данными. Моделирование проводится в программном комплексе Ansys.

Анализируется плоское напряженное состояние: принимается, что значения НДС в объеме рассматриваемых образцов постоянны во всем рассматриваемом объеме. Однако для полного понимания поведения конструкции необходимо учитывать также толщину, что влияет на деформацию конструкции под воздействием напряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта Министерства науки и высшего образования по теме «Разработка научных основ создания перспективных элементов конструкций с управляемыми свойствами из сплавов на основе титана, его инерметаллидов и композиционных материалов на основе алюминия с градиентной поверхностной и объемной структурой» FSFF-2023-0004.

Список литературы

- 1 Бабайцев, А. В. Исследование влияния параметров СЛС печати алюминиевых изделий на уровень остаточных деформаций / А. В. Бабайцев, С. А. Шумская А. В. Рипецкий // СТИН. – 2024. – № 4. – С. 34–37.
- 2 Babaytsev, A. V. Housings with Internal Cooling Channels Produced by Selective Laser Melting. Russian Engineering Research / A. V. Babaytsev, P. O. Polyakov. – 2023. – No. 43 (7). – P. 873–876.

УДК 539.31

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ УТОЧНЕННОЙ ТЕОРИИ

В. В. БАЛАБАНОВ, В. В. ФИРСАНОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Подкрепленная цилиндрическая оболочка рассматривается как система, состоящая из тонкостенной оболочки (обшивки) и жестко соединенного с ней набора поперечных кольцевых ребер.

Оболочка рассматривается как твердое тело, отнесенное к триортогональной криволинейной системе координат $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. Координатные оси α_1, α_2 совпадают с линиями главных кривизн средней поверхности оболочки, а ось α_3 направлена по наружной нормали к этой поверхности.