Рис. 3 – Зависимость значений ускорений от перемещения звена 1

Результаты расчета представлены на графиках (рис. 2, 3). Рассмотренный пример подтверждает эффективность математического описания (1) – (6), при моделировании механических систем, подчиненных одновременно неидеальным удерживающим системам неудерживающих связей и неудерживающим связям.

1. Никольский В. В. Математическое моделирование динамики механизмов и механических подсистем циклической автоматики. Тула: ТулГУ, 2008. 260 с.
2. Никольский В. В., Смирнов Ю. П. О некоторых общих формах уравнений движения систем с трением // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2014. Вып. 3. С. 103–115.
3. Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. Н. MATLAB 7. СПб.: БХВ-Петербург. 1104с.
4. Кюнц Г. П., Крелле В. Нелинейное программирование. М.: Советское радио, 1965. 304 с.
5. Пэнлеве П. Лекции о трении. М.: Гос. тех.-теор. изд-во, 1954. 316 с.
6. Аппель П. Теоретическая механика. М.: Физматгиз, 1960. т.2. 487 с.
7. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара. М.: Наука, 1977. 224 с.
8. Пугачев В. С. Основы динамики автоматического оружия // Тр. Военно-воздушной академии им. Жуковского. – М.: 1946. – Вып. 156 – 110 с.

Лысова А.А., Антипин Д.С.

Влияния геометрических параметров излучающей поверхности ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя на фокусировку ультразвука

Южно-Уральский государственный университет (национальный
исследовательский университет)
(Россия, Челябинск)

doi: 10.18411/lj-04-2020-12

idsp: ljjournal-04-2020-12

Аннотация

Проводится анализ влияния геометрических параметров излучающей поверхности ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя на фокусировку ультразвука. В качестве параметров исследуется диаметр и радиус кривизны излучающей поверхности и ее толщина. На конкретном примере показан выбор оптимальных геометрических характеристик исходя из анализа. Вводится параметр фокусировки, приближенное значение которого является сутью анализа.

Ключевые слова: ультразвук, пьезоэлектрический преобразователь, форма поверхности, моделирование.

Abstract

The influence of geometric parameters of the radiating surface of an ultrasonic piezoelectric transducer on the focus of ultrasound is analyzed. The diameter and radius of curvature of the radiating surface and its thickness are studied as parameters. A specific example shows the choice of optimal geometric characteristics based on the analysis. The focus parameter is entered, the approximate value of which is the essence of the analysis.

Keywords: ultrasound, piezoelectric transducer, surface shape, modeling.

Форма излучающей поверхности является важной составляющей в фокусировке ультразвуковых волн. Следует помнить, что звуковая волна – продольная, а значит, распространение звука будет происходить перпендикулярно к элементарной площади поверхности.

Таким образом, можно рассмотреть три упрощенные поверхности: выпнутую, вогнутую, плоскую. Применение любой из них будет определяться, в первую очередь, необходимостью создания направленного излучения, а также сложностью изготовления подобных форм.

Рассмотрев такие формы излучающих поверхностей можно сделать вывод: форма поверхности как один из факторов поведения ультразвуковых волн важна.

Рисунок 1 – Возможные формы излучающей поверхности
а) выпнутая форма; б) вогнутая форма; в) плоская форма

Рассмотрим следующий фактор – геометрические параметры поверхности. К ним относятся диаметр излучающей поверхности, радиус кривизны излучающей поверхности и толщина стенки.

Опираясь на [2, с. 22], авторами работы предложен параметр фокусировки:

$$P = P_1 \cdot P_2 = \frac{I_2}{I_1} \cdot e^{-2\alpha x}$$

где I_1 – излучаемая интенсивность ультразвуковой волны, Вт/м², I_2 – принимаемая интенсивность ультразвуковой волны, Вт/м², α – коэффициент затухания ультразвука в измеряемой среде, 1/м, x – толщина дна, м.

Опираясь на [1] и законы геометрии, авторами работы были выведены следующие выражения зависимости параметра фокусировки P от геометрических размеров для каждой формы дна:

— плоская форма излучающей поверхности

$$P_1 = \frac{d_{\text{дна}}^2}{\left(d_{\text{дна}} + 2 \left(D_{\text{пч}} - \frac{d_{\text{дна}}^2 \cdot f_{\text{уз}}}{4c} \right) \cdot \operatorname{tg} \left(\arcsin \left(0,61 \cdot \frac{c}{f_{\text{уз}} \cdot \frac{d_{\text{дна}}}{2}} \right) \right) \right)^2}$$

— вогнутая форма излучающей поверхности

$$P_1 = \frac{\pi \left(\frac{d_{\text{дна}}}{2} \right)^2}{\pi \left((D_{\text{ПЧ}} - r_{\text{кр}}) \cdot \frac{d_{\text{дна}}}{r_{\text{кр}}} \right)^2}$$

— выгнутая форма излучающей поверхности

$$P_1 = \frac{\pi \left(\frac{d_{\text{дна}}}{2} \right)^2}{\pi \left((D_{\text{ПЧ}} + r_{\text{кр}}) \cdot \frac{d_{\text{дна}}}{2r_{\text{кр}}} \right)^2}$$

Причем для плоской формы характерным размером будет являться диаметр излучающей поверхности, а для выгнутой и вогнутой формы – радиус кривизны излучающей поверхности. Вводится числовой параметр d , отчитываемого в долях от диаметра проточной части $D_{\text{ПЧ}} = 40$ мм и подставляется в соответствующие выражения вместо характерных размеров.

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента P_1 от геометрических размеров

Моделированием было получено $\alpha = 0,058 \frac{1}{\text{м}}$ для стали 12Х18Н10Т [3].

Рисунок 3 – Влияние толщины дна на P_2

Моделированием были получены зависимости максимальной деформации и максимальных механических напряжений дна при приложенном давлении 1,6 МПа к внешней поверхности дна.

Рисунок 4 – Зависимость прочностных характеристик от толщины дна (квадратик – макс. деформация мм, кружок – макс. напряжения МПа)

Для ультразвуковых приборов существенный интерес представляют закономерности прохождения измерения ультразвуковой волны через однослойную пластину, которая разделяет среды с различными плотностями и скоростями звука в них. Типичный пример – однослойная мембрана, отделяющая пьезоэлемент от измеряемой среды.

Весь расчет сводится к определению толщины дна стакана, которая обеспечит акустическую прозрачность – эффект максимального прохождения и минимального отражения энергии ультразвуковой волны через границу раздела двух сред [4, с.23].

Оптимальной толщиной стенки из стали 12X18H10T, разделяющей воду в качестве измеряемой среды и пьезоэлемента ЖГКД757.681.025-23[5] в качестве источника ультразвука, будет:

$$x = n \cdot \frac{\lambda_1}{2},$$

Длина волны в материале стенки λ_1 :

$$\lambda_1 = \frac{c_1}{f} = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho_1}} = \frac{1}{10^6} \cdot \sqrt{\frac{1,98 \cdot 10^{11}}{7920}} = 5 \text{ мм}$$

$$x = n \cdot \frac{\lambda_1}{2} = 2,5n \text{ мм},$$

где n – целое число.

Предлагаемый критерий оценки фокусировки может быть достаточен для выбора оптимальной формы излучающей поверхности и ее толщины при заданных условиях эксплуатации прибора и свойств материалов.

С ростом толщины незначительно уменьшается P_2 , но увеличивается прочность. Оптимальной толщиной стенки будет толщина кратная 2,5 мм.

Для плоской формы P_1 стремится к 1 при диаметре излучающей поверхности, стремящемся к 16 мм.

Для вогнутой формы P_1 стремится к 1 при радиусе кривизны излучающей поверхности, стремящемся к 20 мм.

Для выгнутой формы P_1 стремится к 1 при радиусе кривизны излучающей поверхности, стремящемся к бесконечности (при бесконечно большом радиусе кривизны поверхность становится плоской).

1. Форма ультразвукового пучка. Диаграмма направленности. – https://studopedia.ru/7_99698_forma-ultrazvukovogo-puchka-diagramma-napravlenosti.html
2. Воробьев, Е.А. Теория ультразвуковых колебаний как основа построения и применения технических средств получения информации: учебное пособие / Е.А. Воробьев – СПб: Изд-во СПбГУАП, 2002. – 54 с.
3. Характеристики стали 12X18H10T. – <https://www.chelarm.ru/pdfs/st.12X18H10T.PDF>
4. Биргер, Г.И. Ультразвуковые расходомеры / Г.И. Биргер, Н.И. Бражников – М.: Металлургия, 1964. – 207 с.
5. Каталог пьезокерамических элементов. – <http://avrora-elma.ru>

Третьякова Е.Е., Куксова А.Е., Графский О.А., Пономарчук Ю.В.
Исследование и моделирование в математическом пакете Maple кривых линий Эрмита и поверхностей Куна

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения
 (Россия, Хабаровск)*

doi: 10.18411/lj-04-2020-13

idsp: ljjournal-04-2020-13

Аннотация

В статье ставится задача рассмотреть метод построения кривых линий Эрмита, и на основе данного метода смоделировать бикубические поверхности Куна. При построении кривой линии или поверхности Эрмита за основу принят матричный метод моделирования поверхности. Результатом выполнения данной работы является моделирование независимых поверхностей и их последующее объединение в фигуру определенной формы. Данная работа реализована в математическом пакете Maple.

Ключевые слова: векторы, матрицы, граничные условия, моделирование бикубических поверхностей Куна, кривые Эрмита, математический пакет Maple.

Abstract

The article aims to consider the method of constructing Hermite curves, and on the basis of this method to simulate bicubic Kuhn surfaces. When constructing a curve line or Hermite surface, the matrix method of surface modeling is used as a basis. The result of this work is the modeling of independent surfaces and their subsequent integration into a shape of a certain shape. This work is implemented in the mathematical package Maple.

Keywords: vectors, matrices, boundary conditions, modeling of bicubic Kuhn surfaces, Hermit curves, mathematical package Maple.

Актуальность данной работы состоит в том, что в современном мире все чаще возникает вопрос об улучшении и упрощении работы в системах проектирования. Матричное представление данных рационально упрощает моделирование сплайнов кривых линий и поверхностей, и их последующую реализацию [1, 2]. Следовательно, в программах САД для описания кривых линий необходимо знать способы применения параметрического уравнения кривой линии третьего порядка [3].

Целью данной статьи является исследование возможности моделирования сплайнов кривых линий и поверхностей посредством альтернативных способов их задания и реализации в матричных операциях посредством математического пакета программирования Maple.