ЛИТЕРАТУРА

1. *Колискор А. Ш.* Разработка и исследование промышленных роботов на основе l-координат // Станки и инструмент.— 1982.— № 12.— С. 21—24.
2. *Фролов К. В., Сергеев В. И., Колискор А. Ш.* Исследование механических параметров промышленных роботов l-координатными методами // Second Yugoslav-Soviet Symposium on Applied Robotics. June 14—15 1984. Proceedings.— Arandjelovac, Yugoslavia, 1984.— P. [illegible]—151.
3. *Киреев С. О.* Метод кинематического исследования промышленных роботов на основе l-координат / Ред. журн. «Станки и инструмент».— М., 1985.— [illegible] с.— Деп. в ВНИИТЭМР 21.11.85, № 379.
4. *Ву Ли.* Исследование кинематики манипуляторов дифференциального типа // Конструирование и технология машиностроения. Тр. Амер. об-ва инж.-мех.— М.: Мир, 1981.— № 2.— С. 264—272.
5. А. с. [illegible] СССР, МКИ B25 J 9/00. l-координатный пространственный механизм / К. С. Арутюнян, А. Ш. Колискор (СССР).— № 3972164/31—08. Заявлено 01.11.85. Опубл. 15.04.87, Бюл. № 14.— 3 с.
6. *Арутюнян К. С., Колискор А. Ш.* Синтез структур l-координатных систем для исследования и диагностирования промышленных роботов // Испытание, контроль и диагностирование гибких производственных систем.— М.: Наука, 1988.— С. 70—81.

ЕрПИ им. К. Маркса 26. IX. 1988

Изв. АН АрмССР, сер. ТН, т. XLIII, № 4, 1990, с. 153—157

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК [illegible]

Э. С. СААКЯН, Л. Б. МКРТЧЯН, Р. В. СААКЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ

Приводится сравнительный анализ приближенных численных методов решения нелинейных уравнений движения механизмов по критерию достигаемой точности расчета. Приводятся рекомендации о целесообразности конкретного использования того или иного метода расчета.

Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

[illegible]

Уравнение движения механизма с одной степенью подвижности

$$dT/d\varphi = M(\varphi, \omega) \tag{1}$$

можно представить в дифференциальной

$$I(\varphi)\,\omega d\omega/d\varphi + 0{,}5I'(\varphi)\,\omega^2 = M(\varphi, \omega) \tag{2}$$

либо в интегральной форме

$$0{,}5I(\varphi)\,\omega^2 = 0{,}5I(\varphi_0)\,\omega_0^2 - \int_{\varphi_0}^{\varphi} M(\varphi, \omega)\,d\varphi. \tag{3}$$

где $T = 0{,}5I(\varphi)\,\omega^2$; $I'(\varphi) = dI(\varphi)/d\varphi$; φ_0, φ и ω_0, ω — начальное и текущее значения угла поворота и угловой скорости начального звена механизма: $M(\varphi, \omega)$, $I(\varphi)$ — приведенные к начальному звену момент сил и момент инерции.

Уравнение (2) дифференциальное, нелинейное, первого порядка и в общем случае не может быть решено в квадратурах, а в уравнении (3) при тех же исходных данных не определяется интеграл $\int\limits_{\varphi_0}^{\varphi} M(\varphi, \omega)\,d\varphi$. Ввиду этого решения уравнений (1)—(3) проводятся приближенными численными методами. Основными известными методами приближенного решения уравнений (1)—(3) являются:

1. Приближенное решение уравнения (2), рассмотренное в [1, 2] (метод № 1), которое сводится к рассмотрению зависимости

$$\omega_{i+1} = M_i\,\Delta\varphi / I_i\,\omega_i + \omega_i\,(3I_i - I_{i+1})/2I_i\,. \tag{4}$$

Зависимость (4) можно также получить, решая уравнение (2) на интервале $\Delta\varphi$ методом Эйлера [3, 4].

2. Приближенное решение уравнения (2) методом полушага [3], рассмотренное в [5, 6] (метод № 2), которое сводится к рассмотрению зависимости

$$\omega_{i+1} = \omega_i + (M_{i+0,5} - 0{,}5I'_{i+0,5}\,\omega^2_{i+0,5})\,\Delta\varphi / I_{i+0,5}\,\omega_{i+0,5}\,, \tag{5}$$

где

$$\omega_{i+0,5} = \omega_i + (M_i - 0{,}5I'_i\,\omega_i^2)\,\Delta\varphi/2I_i\,\omega_i\,. \tag{6}$$

3. Приближенное решение уравнения (1) методом полушага, рассмотренное в [5] (метод № 2*а*), которое сводится к рассмотрению зависимости

$$\omega_{i+1} = \sqrt{(I_i\,\omega_i^2 + 2M_{i+0,5}\,\Delta\varphi)/I_{i+1}}\,, \tag{7}$$

где

$$\omega_{i+0,5} = \sqrt{(I_i\,\omega_i^2 + M_i\,\Delta\varphi)/I_{i+0,5}}\,. \tag{8}$$

4. Приближенное решение уравнения (3), рассмотренное в [7] (метод № 3), которое сводится к определению ω_{i+1} из неявной зависимости

$$I_{i+1}\,\omega^2_{i+1} - I_i\,\omega_i^2 = [M_i + M(\varphi_{i+1}, \omega_{i+1})]\,\Delta\varphi. \tag{9}$$

Зависимость (9) можно получить также из (2), предположив, что на интервале изменения угла $\Delta\varphi$ функции $I(\varphi)$, $\omega^2(\varphi)$ и $M(\varphi, \omega)$ (рис. *а*, *б*, *г*) меняются по линейному закону.

5. К указанным зависимостям добавим ранее неизвестные: а) выражение

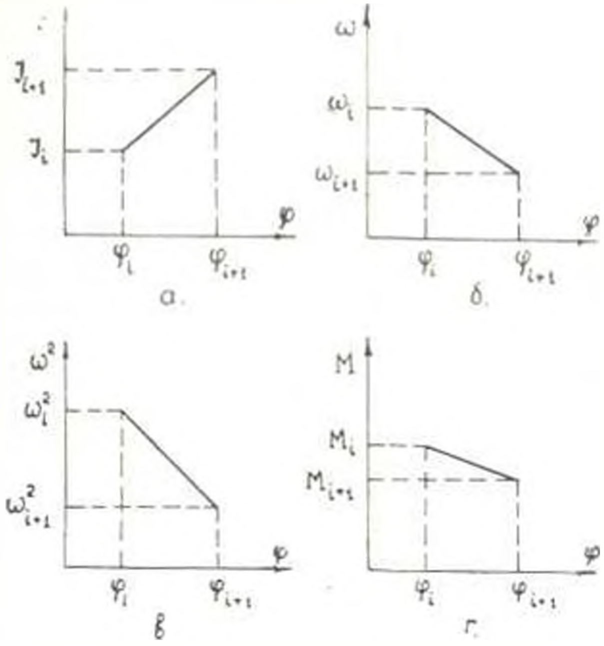
$$\omega_{i+1} = \sqrt{(2M_i\,\Delta\varphi + I_i\,\omega_i^2)/I_{i+1}}\,, \tag{10}$$

которое получается при решении уравнения (1) на интервале $\Delta\varphi$ методом Эйлера (метод № 1а);

б) выражение

$$(3I_{i+1} + I_i)\,\omega_{i+1}^2 - 2\,(I_{i+1} - I_i)\,\omega_i\,\omega_{i+1} - (I_{i+1} + 3I_i)\,\omega_i^2 =$$
$$= 4\,[M_i + M(\varphi_{i+1}, \omega_{i+1})]\,\Delta\varphi, \qquad (11)$$

которое получается из (2), предположив, что на интервале изменения угла $\Delta\varphi$ зависимости $I(\varphi)$, $\omega(\varphi)$ и $M(\varphi, \omega)$ (рис. *а*, *б*, *г*) меняются по линейному закону (метод № 3*а*).



Рис

В выражениях (4)—(11) приняты обозначения: $\Delta\varphi = \varphi_{i+1} - \varphi_i$, где φ_{i+1}, φ_i — величины угла поворота начального звена в конце и в начале принятого интервала исследования:

$$\omega_{i+0,5} = \omega(\varphi_i + 0,5\Delta\varphi); \qquad I_{i+0,5} = I(\varphi_i + 0,5\Delta\varphi);$$

$$I'_{i+0,5} = I'(\varphi_i + 0,5\Delta\varphi); \qquad M_{i+0,5} = M[(\varphi_i + 0,5\Delta\varphi), \omega_{i+0,5}].$$

Несмотря на многообразие приближенных способов решения уравнений (1)—(3), в литературе по ТММ отсутствует информация об их достоинствах, недостатках и нет рекомендаций об оптимальных областях их использования. При рассмотрении конкретных задач исследователями интуитивно выбирается тот или иной приближенный метод, поэтому полученное решение не всегда оказывается оптимальным с точки зрения затрат времени и достигнутой точности расчета. В тех случаях, когда зависимости $M = M(\varphi, \omega)$ и $I = I(\varphi)$ в уравнениях (1)—(3) задаются в аналитической форме, выбор приближенного метода решения теряет свою актуальность ввиду возможности нахождения маленького шага расчета, при котором результаты, полученные разными методами, окажутся близкими друг к другу и к точному решению. Однако в большинстве конкретных задач информация о механических характеристиках сил, действующих на механизм, задается в табличной (графической) форме. Это же относится и к значениям приведенного момента инерции, т. е. исследователь располагает набором дискретных значений M и I. В таких случаях особенно важен правильный выбор численного метода расчета.

Проведем сопоставление перечисленных выше методов приближенного решения уравнений движения (1)—(3). Погрешность методов № 1 и № 1а на каждом шаге $\Delta\varphi$ не превышает величину $a(\Delta\varphi)^2$ [3, 4], где a — коэффициент, определяемый видами зависимостей $M(\varphi, \omega)$ и $I(\varphi)$. Следует указать на существенный недостаток метода № 1. Ввиду того, что в первом слагаемом выражения (4) ω_i записано в знаменателе, возникают значительные сложности при $\omega_i = 0$. Метод №1a лишен этого недостатка. Большей точности можно достигнуть, используя для расчетов модификацию метода Эйлера, которая известна как метод полушага. Расчеты показывают, что погрешность этого метода на каждом шаге $\Delta\varphi$ не превосходит величину $Q(\Delta\varphi)^3$. Косвенное указание на такую погрешность имеется и в [3]. Сопоставляя методы полушага, отметим два существенных недостатка метода № 2. Во-первых, для расчета методом № 2 необходимо иметь дополнительно зависимость $I'(\varphi)$, а во-вторых, при $\omega_i = 0$ решение задачи усложняется (величина ω_i в знаменателе второго слагаемого выражения (6)). Метод № 2a лишен этих недостатков. Для выражений (9) и (11) методов № 3 и № 3a порядок погрешности не установлен. Однако практические расчеты, проведенные при решении многочисленных задач, свидетельствуют о том, что по точности эти методы значительно превосходят ранее рассмотренные.

С целью апробации приближенных методов проведено решение ряда задач. В результате анализа полученных результатов установлено, что приближенные методы решения уравнений движения механизмов по признаку достигаемой точности расчета условно можно разделить на три группы.

Первую группу образуют методы № 1 и № 1a, которые характеризуются невысокой точностью расчета. Однако простая структура уравнений (4) и (10) позволяет рекомендовать их для быстрых ориентировочных расчетов без использования ЭВМ. Предпочтение при расчетах следует отдавать методу № 1a.

Вторую группу образуют методы № 3 и № 3a, которые обеспечивают наибольшую, чем все остальные методы, точность расчета. Уравнения (9) и (11) этих методов в общем случае могут оказаться неявными относительно искомых ω_{i+1}. В таких случаях эти уравнения целесообразно решать на ЭВМ.

Третью группу образуют методы № 2 и №2a, которые по точности расчета занимают промежуточное положение между методами первой и второй групп. Структура уравнений этих методов позволяет решать их с использованием непрофессиональных микрокалькуляторов. Предпочтение при расчетах следует отдавать методу № *2а*.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баранов Г. Г.* Курс теории механизмов и машин.— М.: Машиностроение, 1967.— 508 с.
2. *Артоболевский И. И.* Теория механизмов и машин.— М.: Наука, 1988.— 640 с.
3. *Демидович Б. П., Марон И. А., Шувалова Э. С.* Численные методы анализа.— М.: Физматгиз, 1963.— 400 с.
4. *Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д.* Элементы прикладной математики.— М.: Наука, 1967.— 645 с.
5. *Зиновьев Вяч. А., Бессонов А. П.* Основы динамики машинных агрегатов.— М.: Машиностроение, 1964.— 236 с.
6. *Бессонов А. П.* Динамика механизмов // Спр.: Кинематика, динамика и точность механизмов.— М.: Машиностроение.— 1984.— С. 75—110.
7. Теория механизмов и машин / Под ред. К. В. Фролова.— М.: Высшая школа, 1987.— 490 с.

ЕрПИ им. К. Маркса XII. 1989

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 4, 1990, с. 157—161

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 628.517:534.6.08

А. Т. АРАКЕЛЯН, Э. Л. ШАХБАЗЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ЗАГЛУШЕННЫХ КАМЕР

Предлагается новый метод расчета характеристик звукового поля заглушенных камер. Предлагаемый метод в отличие от существующего позволяет получать характеристики звукового поля заглушенной камеры с учетом характеристик и положения поглощающих поверхностей при любых значениях запаздывания отраженного звука относительно прямого, что значительно увеличивает точность расчета.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

Հոդվածում առաջարկված է խուլ խցերում ձայնային դաշտի բնութագրերի հաշվարկային նոր մեթոդ։ Ի տարբերություն հայտնի եղանակների՝ հաշվի են առնված կլանող մակերևույթների բնութագրերը ու դիրքը անդրադարձող ձայնի ուշացման ցանկացած նշանակության դեպքում, որը բերում է հաշվարկի ճշտության բարձրացման։

Существующий метод расчета характеристик звукового поля заглушенных камер разработан [1] на основе статистической теории при некоторой идеализации формирования звукового поля. При расчете характеристик звукового поля по существующему методу не учитываются значение коэффициента звукопоглощения в зависимости от угла падения звуковой волны, расположение поглощающих поверхностей в помещении относительно источника шума и распределение звукового