

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал издается с 1947 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Խ Մ Ր Ա Դ Ե Ա Վ Ա Ն Վ Ո Լ Ե Դ Ի Ա

Կասյան Լ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղունց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),

Ալեքսանյան Վ. Վ., Աճառյան Ա. Կ., Զաղոյան Լ. Ա., Հակոբյան Բ. Ե.

Սարգսյան Յու. Լ., Ստակյան Լ. Գ., Տեր-Ազարի Ի. Ա.,

Փինսոյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),

Գառնախանյան Բարսեղյան Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кисьян М. В. (ответ. редактор), Адоиц Г. Т. (зам. ответ. редактора).

Алексеевский В. В., Анимян А. К., Акопян Р. Е., Задоян М. А.

Иснаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. А.

Стишкин М. Г., Тер-Азарьев И. А.

Ответственный секретарь Степанян Э. К.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

К. М. ЕГИШЯН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ МЕХАНИЗМОВ
ПУТЕМ КОМБИНИРОВАНИЯ ДВУХ ЧЕТЫРЕХЗВЕННЫХ
ГЕНЕРАТОРОВ ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИИ

Новый метод синтеза регулируемых направляющих и передаточных рычажных механизмов, разработанный в [1, 2], позволяет комбинировать четырехзвенные механизмы, воспроизводящие одинаковую линейную функцию. В [1, 2] авторы исходили из возможности комбинирования прямолинейных и круговых направляющих четырехзвенников с приближенно-равномерным движением чертящей точки.

В настоящей работе указанный метод получает дальнейшее развитие, включающееся в разработку алгоритмов проектирования регулируемых механизмов на базе комбинации двух передаточных четырехзвенников, приближенно воспроизводящих одну и ту же линейную функцию.

1. Пусть имеем передаточные шарнирные четырехзвенники $ABCD$ и $AB'C'D'$ с одинаковой длиной стойки, приближенно воспроизводящие в данном интервале $[\varphi_m, \varphi_0] = [\varphi_m, \varphi_0]$ произвольную линейную функцию $\psi = k(\varphi)$. Жестко скрепляя входные звенья AB и AB' в положениях, соответствующих началу приближения под углом, равным $\angle ABB' = \varphi_0 - \varphi_m$ (рис. 1, а), можно заметить, что угол между звеньями CD и $C'D'$ полученного шестизвенника при повороте звена ABB' на угол $\varphi_m - \varphi_0$ остается приближенно-постоянным: $\angle CDC' \approx \approx \varphi_0 - \varphi_m$. Это свойство позволяет ввести в состав механизма избыточную связь путем жесткого соединения звеньев CD и $C'D'$ (рис. 1, а). Поставив затем механизм из звена ABB' и отсоединив звено $B'C'$, получим шарнирный четырехзвенник $ADCB$ (рис. 1, б), шатуновая точка C' которого во время поворота обращенной стойки AD на угол $\varphi_m - \varphi_0$ описывает траекторию, достаточно близкую к дуге окружности радиуса $B'C'$ с центром в точке B' .

Ввиду воспроизведения исходными четырехзвенниками линейной функции можно варьировать углом закрепления $BA B'$ между звеньями AB и AB' . Действительно, если уменьшим указанный угол на величину α , то пропорционально изменится угол CDC' на величину $\beta = k\alpha$, что приведет к уменьшению общего интервала линейного перемещения ма-

ходных звеньев CD и $C'D$. Поэтому после вышеописанных преобразований получается множество круговых направляющих механизмов с разными длинами окружного участка шатунной кривой точки C' . Сказанное позволяет создание механизма $ADCB$ (рис. 1, в), в которой рычаг $C'D$ с шатуном CD соединяется установочно-подвижно, т. е. с возможностью фиксации с ним под любым углом.

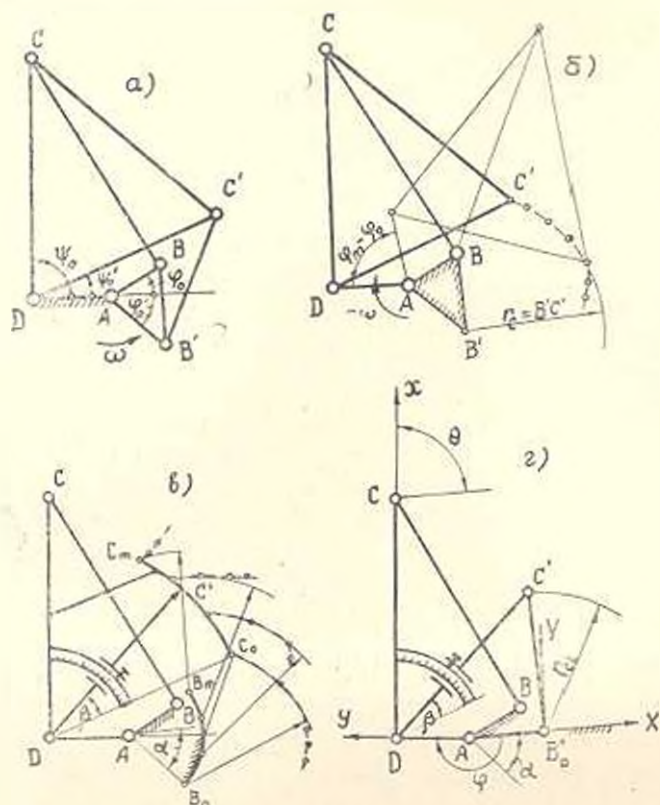


Рис. 1.

Отсюда следует, что для перенастройки механизма на требуемую длину дуги приближения необходимо изменение угла CDC' и интервала $|\psi_0 - \psi_m| \leq \angle CDC' \leq |\psi_0 - \psi_m|$.

Для построения регулируемого кругового направляющего механизма, изображенного на рис. 1, в, взяты два передаточных механизма, приближенно воспроизводящие линейную функцию $\psi = 0,5\varphi$ на отрезке $[0...40^\circ]$ при изменении аргумента φ на отрезке $[0...80^\circ]$ с параметрами: $d = d' = 1$, $a = 0,816227$, $b = 3,265306$, $c = 3,253061$, $\varphi_0 = 31,2^\circ$, $\varphi_m = 88,79^\circ$, $\alpha' = 0,908959$, $b' = 1,870446$, $c' = 2,692582$, $\varphi'_0 = -44,64^\circ$, $\varphi'_m = 20,83^\circ$. Соответствующие максимальные отклонения в передаточном отношении равны: $\Delta u = 0,008$; $\Delta u' = 0,013$.

При регулировании механизма изменяются как длина дуги приближения, так и центры соответствующих дуг и получается, что на шатуне DC имеется дуга $\cup C_0C_m = c'(\psi'_m - \psi'_0)$, любая точка которой

при движении механизма вычерчивает дугу окружности радиуса b' с центром, расположенным на дуге B_0B_m (на рисунке дуги C_0C_m и B_0B_m материализованы и неподвижно соединены с шатуном DC и стойкой).

На основе полученного кругового направляющего механизма (рис. 1, в) построим шестизвенный механизм с регулируемым углом выстоя.

С этой целью освободим звено AB' , которое жестко соединено со звеном AB и присоединим ранее отсоединенное звено $B'C'$ (рис. 1, г). Теперь при непрерывном вращении кривошипа выходное звено AB' движется с остановками с углом выстоя

$$\varphi_b = \varphi_m - \varphi_0 - \alpha = \varphi_m - \varphi_0 - \beta/k.$$

Регулирование механизма для получения требуемого угла выстоя можно произвести на ходу, автоматически устанавливая по шкале угла β соответствующее его значение.

Определим отклонения точки C' построенного механизма от окружности при различных значениях угла выстоя. Отклонение i -го положения точки C' от окружности радиуса $B'C'$ вычисляем по формуле

$$\Delta r = r_{C_i} - b = \sqrt{X_{C_i}^2 + Y_{C_i}^2} - b,$$

где r_{C_i} — радиус-вектор i -го положения C_i точки C' , проведенной из положения выстоя B'_0 центра шарнира B' , где помещено начало неподвижно связанной со стойкой координатной системы B'_0XY , причем ось B'_0X направлена по вектору $\overline{AB'_0}$; X_{C_i} , Y_{C_i} — координаты точки C' в i -ом положении кривошипа AD , определяемом углом φ_i :

$$X_{C_i} = x_C \cos \theta_i - y_C \sin \theta_i - a + d \cos \varphi_i; \quad (1)$$

$$Y_{C_i} = x_C \sin \theta_i + y_C \cos \theta_i + d \sin \varphi_i. \quad (2)$$

В равенствах (1), (2) x_C и y_C — координаты точки C' в жестко связанной с шатуном CDC' системе Dxu , а θ_i — угол между осями Dx и B'_0X . Эти величины имеют выражения:

$$x_C = c' \cos (\psi_0 - \psi'_0 - \beta);$$

$$y_C = -c' \sin (\psi_0 - \psi'_0 - \beta);$$

$$\theta_i = \arccos \left[-\frac{1}{1+B^2} \left(A + B \sqrt{1+B^2-A^2} \right) \right],$$

где

$$A = \frac{d^2 + a^2 + c^2 - b^2 - 2da \cos (\varphi_0 - \varphi'_0 - \alpha - \varphi_i)}{2c [d \cos \varphi_i - a \cos (\varphi_0 - \varphi'_0 - \alpha)]};$$

$$B = \frac{d \sin \varphi_i - a \sin (\varphi_0 - \varphi'_0 - \alpha)}{d \cos \varphi_i - a \cos (\varphi_0 - \varphi'_0 - \alpha)}.$$

Вычисления, проведенные на ЭВМ „Наири-2“, показали, что максимальные по модулю относительные отклонения точки C' от окружности имеют место при больших значениях угла выстоя. При $\varphi_n = -\varphi_0 - \varphi_0 = 80^\circ$, $\Delta r_{\max} = 0,0062$, и соответствующее угловое отклонение выходного звена AB от положения выстоя равно $0,3 \text{ град}$.

2. Аналогичным образом, на базе двух передаточных кривошипно-ползуновых или коромыслово-ползуновых механизмов, воспроизводящих одну и ту же линейную функцию, можно построить регулируемые прямолинейно-направляющие механизмы. Пусть два кривошипно-ползуновых механизма ABC и $A'B'C'$ при вращении кривошипов AB и $A'B'$ на равные углы $\lambda = \varphi_n - \varphi_0 = \varphi_n' - \varphi_0'$ приблизительно воспроизводят линейную функцию $S = k(\varphi)$. Параллельным переносом одного из механизмов совместим точки A и A' и жестко соединим кривошипы AB и $A'B'$ в положениях, соответствующих началу приближения и определяемых углами φ_0 и φ_0' . Так как перемещение ползунов при вращении общего кривошипа ABB' на угол λ происходит по одному и тому же линейному закону, то расстояние между шарнирами C и C' остается приблизительно постоянным. Следовательно, ползуны можно жестко соединить.

Сделав неподвижным сдвоенный ползун и освободив точку A (рис. 2, а), заключаем, что она при повороте звена CB на некоторый угол Φ , движется по приблизительно-прямолинейной траектории. Угол закрепления кривошипов AB и AB' можно варьировать, изменив при этом длину стойки CC' и шатуна BB' (на рис. 2, а угол закрепления кривошипов изменен на величину α).

Механизм по рис. 2, а с регулируемым прямолинейным ходом шатуновой точки A получен комбинированием двух коромыслово-ползуновых механизмов, воспроизводящих линейную функцию $S = 1,0345\varphi$ с размерами: $a = 1,7114$; $b = 0,3567$; $e = 1,3547$; $\varphi_0 = 238,58^\circ$; $\varphi_m = 301,42^\circ$; $a' = 1$; $b' = 2,078$; $e' = 1,529$; $\varphi_0' = 204,66^\circ$; $\varphi_m' = 267,52^\circ$.

Регулирование механизма производится при неподвижной кинематической цепи ABC , фиксированной в положении, соответствующем началу приближения. При снятом фиксаторе перемещением ползуна C' по неподвижной шкале устанавливается значение длины приблизительно-прямолинейного хода S точки A . При этом указатель шатуна $BA'B'$ укажет значение угла λ , определяющее соответствующую величину угла закрепления $BA'B'$. Обе шкалы тарируются по соотношению

$$S = k(\lambda - \alpha).$$

При изменении λ в интервале $0 \leq \lambda \leq \lambda$ длина прямолинейного хода S точки A уменьшается от $S_{\max} = k\lambda$ до нуля.

Анализ четырехзвездников, соответствующих различным S , показал, что с увеличением S точность воспроизведения прямой уменьшается. При $S = S_{\max} = 1,134603$, $\Delta_{\max} = 0,008$.

С целью получения механизма с остановками присоединим к шатунной точке A и стойке полученного четырехзвенного механизма $CBV'C'$ двухповодковую группу, состоящую из ползуна и подвешенной кулисы с центром вращения в точке D . Кулису расположим так, чтобы во время движения шатунной точки A по приближенно-прямолинейному участку шатунной кривой продольная ось кулисы совпала с указанным отрезком. Тогда на интервале поворота Φ_b входного звена BC выходная кулиса будет иметь выстой. При произвольном выборе положения центра вращения D кулиса может совершать возвратно-колебательное движение с выстоем.

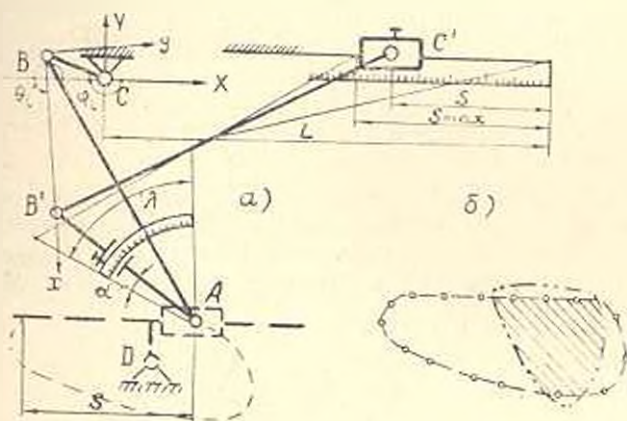


Рис. 2.

С целью получения одностороннего периодического поворота выходной кулисы для всего интервала регулирования угла выстоя достаточно построить траектории шатунной точки A четырехзвенника $CBV'C'$ при минимальном и максимальном значениях угла выстоя (рис. 2, б) и поместить центр вращения D кулисы в общей (заштрихованной) области, ограниченной этими траекториями. При этом величина угла выстоя Φ_b входного звена BC не зависит от выбора точки D и вычисляется по выражению

$$\Phi_b = \theta_l - \theta_m, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} \theta_l &= -\arcsin \left[\frac{\sin(\varphi_0 + \alpha) + e}{b} \right], \quad \varphi_0 + \alpha > \frac{3}{2}\pi; \\ \theta_l &= \pi + \arcsin \left[\frac{\sin(\varphi_0 + \alpha) + e}{b} \right], \quad \varphi_0 + \alpha < \frac{3}{2}\pi; \\ \theta_m &= -\arcsin \left(\frac{\sin \varphi_m + e}{b} \right). \end{aligned}$$

При заданных размерах механизма из формулы (4) получим:

$$\max \Phi_b = \Phi|_{\varphi=0} = 145,4^\circ, \quad \min \Phi_b = \Phi|_{\varphi=\pi} = 0.$$

ԿԱՐԳԱՎՈՐՎՈՂ ՄԵԽԱՆԻԶՄՆԵՐԻ ՆԱԽԱԴԵՌՈՒՄԸ ԿԵԱՅԻՆ
ՖՈՒՆԿՑԻԱՅԻ ԵՐԿՈՒ ՔԱՌՕՂԱԿ ԴԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ԶՈՒԳԱԿՑՄԱՆ ԽՂԱՆԱԿՈՎ

Ա. Մ. ԲԻ Ս Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում քննարկվում է կարգավորվող ուղղագիծ և շրջանային ուղղորդ մեխանիզմների մետրական սինթեզի նոր եղանակ, որը թույլ է տալիս ստանալ վեցօղակ մեխանիզմներ, որոնց շափերի պարզ վերալարման միջոցով կարելի է ապահովել նրբի ողակի կանգառի պահանջվող միջակայքում փոփոխվող տեղորոշումն: Բերված են թվային օրինակներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Егшиян К. М., Саркисян Ю. Л. Синтез регулируемых прямолинейных и круговых направляющих механизмов. «Известия вузов. Машиностроение», 1975, № 5.
2. Егшиян К. М., Алакярян Л. М., Саркисян Ю. Л. Некоторые задачи перемещающих механизмов. «Известия АН Арм ССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 4, 1977.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

П. М. ЕСАЯН

К ВОПРОСУ ОБ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
 ТОКАРНОГО СТАНКА

Точность обработки на металлорежущих станках различного функционального назначения зависит от устойчивости формообразующих движений и в значительной степени обуславливается величиной и направлением силы резания, характеристикой упругой системы (УС) и процесса резания (ПР).

Целью исследования является теоретическое определение условий возникновения апериодической неустойчивости замкнутой динамической системы станка, выражаемой нарастающим отклонением режущего инструмента в обрабатываемую заготовку, приводящих к нарушению точности, недопустимым деформациям, а подчас и к поломкам режущего инструмента.

Решение этой задачи приобретает особое значение для станков с ЧПУ, когда режущий инструмент и заготовка могут иметь любое взаимное расположение, вследствие чего и результирующая сила резания в пространстве может ориентироваться в любом направлении, приводя к изменению направления смещений суппортной группы.

Допуская линейность упругости, пропорциональность сил сопротивления скорости колебательного движения, пренебрегая смещениями заготовки (обрабатывается весьма жесткая заготовка), уравнения движения УС суппорта при двух степенях свободы в обобщенной системе координат (рис. 1) представим в виде [1]:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{\xi} + h_1 \dot{\xi} + C_1 \xi = P \cos \beta, \\ m_2 \ddot{\eta} + h_2 \dot{\eta} + C_2 \eta = P \sin \beta, \end{cases} \quad (1)$$

где m_1 и m_2 — приведенные массы УС суппорта; h_1 и h_2 — коэффициенты сил сопротивления; C_1 и C_2 — главные жесткости системы ($C_1 = C_{\max}$, $C_2 = C_{\min}$); P — действующая сила; β — угол между направлением оси максимальной жесткости и действия силы; ξ и η — обобщенные координаты, значения которых определяются как линейными, так и крутильными смещениями суппорта относительно центра жесткости.

Согласно [1], динамическую характеристику УС суппорта $W_{\text{УС}}$ как отношение выходной координаты Y к входной P можно выразить следующей формулой:

$$W_{\text{УС}} = \frac{\cos(\alpha + \beta) \sin \beta}{C_2(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)} - \frac{\sin(\alpha + \beta) \cos \beta}{C_1(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)}, \quad (2)$$

где T_1 и T_1 — соответствующие принятым степеням свободы инерционные постоянные времени, с; T_1 и T_2 — постоянные времени демпфирования в соответствующей степени свободы, с; p — оператор Лапласа.

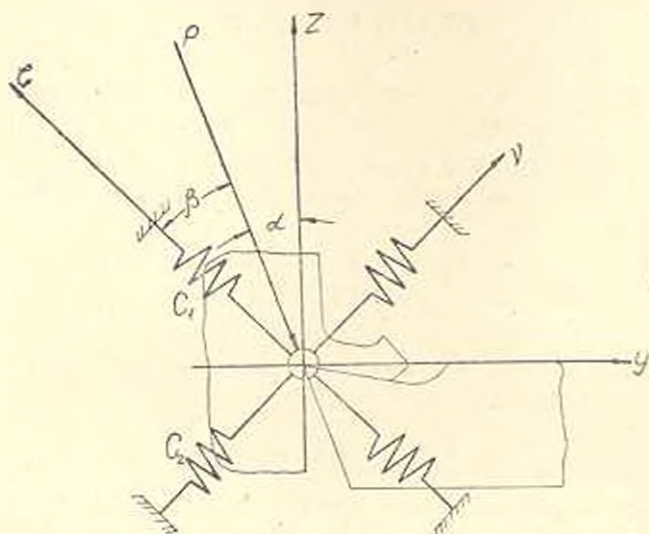


Рис. 1. Расчетная схема УС суппорта.

При $p = 0$ ($\omega = 0$, где ω — круговая частота) получаем статическую характеристику ЭУС суппорта:

$$K_{\text{УС}} = \frac{Y}{P} = \frac{\sin \beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}{C_2} - \frac{\cos \beta \cdot \sin(\alpha + \beta)}{C_1}. \quad (3)$$

Данное выражение служит основанием для определения условия отсутствия апериодически нарастающего отклонения суппорта, выраженного неравенством [1]:

$$1 - \frac{K_{\text{УС}} \cdot b}{C_1} \left| \frac{C_1}{C_2} \sin \beta \cos(\alpha + \beta) - \cos \beta \sin(\alpha + \beta) \right| > 0. \quad (4)$$

Как видно, условие апериодической устойчивости системы зависит от величин главных жесткостей рассматриваемой УС (C_1 и C_2), условной удельной силы резания $K_{\text{УС}}$ направления действия результирующей силы резания α и β , ширины срезаемого слоя b .

Условие (4) для рассматриваемой модельной системы суппорта (рис. 1) может быть использовано для установления характера изме-

нения отношения максимальной жесткости к минимальной при различных направлениях силы резания, определяемых углами α и β , и коэффициентом резания $K_p = K_{y2} \cdot b$.

Из (4) следует, что, если

$$\frac{C_1}{C_2} \frac{K_2}{C_1} \sin \beta \cos (\alpha + \beta) > 0,$$

то

$$\frac{C_1}{C_2} < \frac{C_1}{K_p \sin \beta \cos (\alpha + \beta)} + \frac{\cos \beta \sin (\alpha + \beta)}{\sin \beta \cos (\alpha + \beta)}. \quad (5)$$

Для удобства анализа допустим, что $\frac{K_2}{C_1} = 1$, тогда:

$$\frac{C_1}{C_2} < \frac{1 + \cos \beta \cdot \sin (\alpha + \beta)}{\sin \beta \cdot \cos (\alpha + \beta)}. \quad (6)$$

Расчеты условия аперриодической устойчивости (6) производились на ЭВМ «Найри-2» при значениях угла β в пределах $0 \div 360^\circ$ через каждые 15° . Для каждого значения угла β определялась величина $\frac{C_1}{C_2}$ при различных значениях угла α с его изменением в диапазоне $0 \div 360^\circ$ через каждые 10° .

На рис. 2 показаны графики изменения $\frac{C_1}{C_2}$ для этих значений углов β и α при $\beta = 0 \div 180^\circ$, $\alpha = 0 \div 90^\circ$ и $280 \div 360^\circ$, учитывая идентичность результатов расчетных данных при $\beta > 180^\circ$ и $\beta < 180^\circ$.

Как видно, с изменением углов β и α величина $\frac{C_1}{C_2}$ изменяется в весьма широких пределах, имея как положительные, так и отрицательные значения. В соответствии с условием (6) на диаграммах показаны области аперриодической устойчивости и неустойчивости, выделены также области абсолютной аперриодической устойчивости, которая зависит от отношения максимальной жесткости суппортной группы к минимальной.

В пределах изменения угла $\beta = 0 \div 90^\circ$ характер изменения $\frac{C_1}{C_2}$ для значений $\alpha = 0 \div 30^\circ$ идентичен и их значения положительны. Наибольшая величина отношения имеет место при $\beta = 0^\circ$ при всех указанных значениях угла α , а наименьшая — при $\beta = 30 \div 45^\circ$. С дальнейшим увеличением угла β область аперриодической устойчивости для данных значений α уменьшается с увеличением угла β до 45° , а затем увеличивается. При $\beta = 45 \div 75^\circ$ получаются отрицательные значения $\frac{C_1}{C_2}$. Последующее увеличение угла α приводит к резкому изменению закономерности $\frac{C_1}{C_2}$, что хорошо прослеживается на диаграммах с обозначением областей аперриодической устойчивости и неустойчивости.

На рис. 26 приведены закономерности изменения $\frac{C_1}{C_2}$ в области $\beta = 0 \div 180^\circ$ при $\alpha = 280^\circ \div 360^\circ$. В этом случае существенно, что при $\beta = 15 \div 90^\circ$ значения $\frac{C_1}{C_2}$ положительны при всех углах α , а при $\beta > 90^\circ$ — преобладают его отрицательные значения.

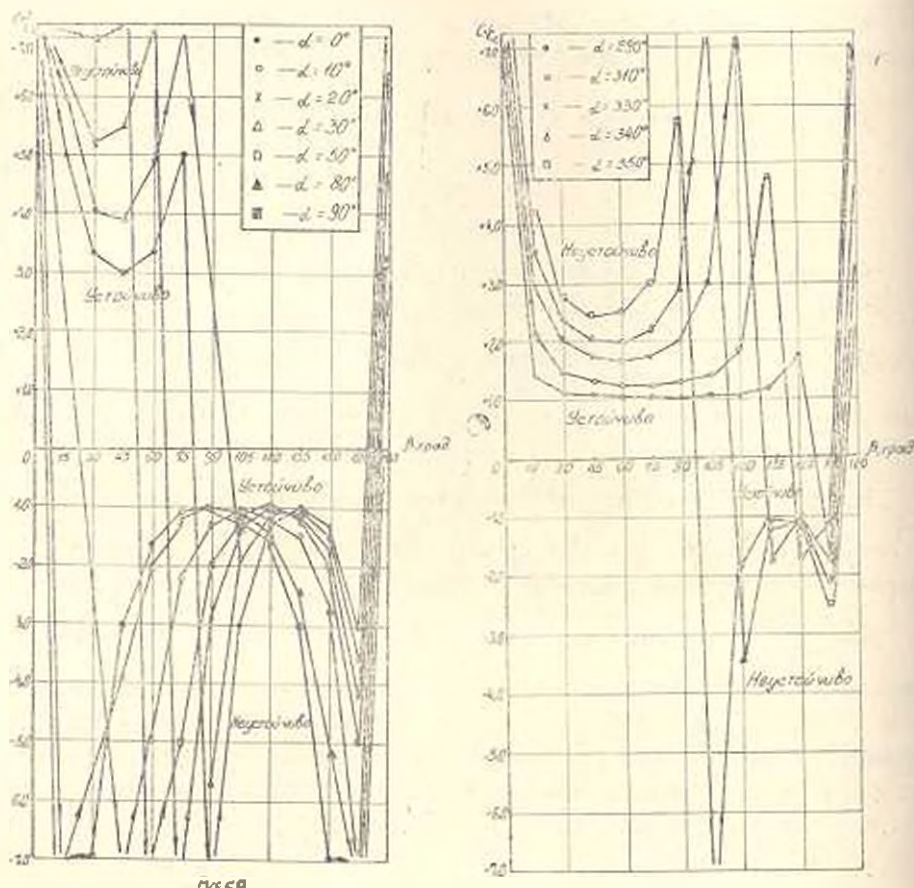


Рис. 2. Закономерности изменения отношения максимальной жесткости УС суппорта к минимальной в зависимости от направления действия силы резания: а) при значениях угла $\alpha = 0 \div 90^\circ$; б) при значениях угла $\alpha = 280 \div 360^\circ$.

Выводы

1. Отношение максимальной жесткости УС суппорта к минимальной при его положительных и отрицательных значениях в зависимости от направления результирующей силы резания, как конструктивно-технологический фактор, может быть принято в качестве показателя апериодической устойчивости узла.

2. На этой основе даны зависимости отношений экстремальных значений жесткостей УС суппорта от направления результирующей силы

резания при его изменении в отношении оси максимальной жесткости и тангенциальной составляющей силы резания, позволяющие установить области аperiodической устойчивости и неустойчивости по этим параметрам. Наибольшей аperiodической устойчивостью система суппорта обладает в случае совпадения направлений силы резания с направлением оси максимальной жесткости, наименьшей — в зависимости от угла α при значениях $\varphi = 45 \div 165^\circ$ и $235 \div 330^\circ$.

3. Установлены значения отношения максимальной жесткости УС суппорта к минимальной, при которых она аperiodически абсолютно устойчива.

В. И. ШАНСКИЙ 3-д «Ерал»

Поступило 4 XI 1981

Պ. Մ. ԿՈՍՏԱՆ

ԿԱՌԱՏԱՅԻՆ ՀԱՍՏՈՑԻ ՈՉ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ԱՆՀԱՅԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱԵՐԵՄՈՒՄ

Ա մ փ ո ւ թ ո մ

Հետազոտվում է իմպլին ծրարարություններ կառավարվող խառատային հատկությունների սուպրատային խմբի ոչ պարբերական կալունության պայմանները, որոնք արտացոլում են ոչ պարբերական կալունության սահմանի կախվածությունը կտրման ուժի ուղղությունից և առավելագույն ու նվազագույն կալունությունների հարաբերությունից: Յուր է սրված, որ կտրման ուժի որոշակի ուղղության դեպքում ոչ պարբերական կալունության սահմանի արժեքավորումը կարելի է կատարել երկու կոլունությունների հարաբերություն համադաստիսան ընդունելով, որը կարող է լինել դրական և բացասական: Դոյություն ունեն այդ հարաբերության այնպիսի մեծություններ, որի դեպքում սուպրատի առաձգական համակարգը ոչ պարբերականորեն կալուն է կտրման ուժի ցանկացած ուղղության դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кибинко В. А. Динамика станков. М., «Машиностроение», 1967, с. 359.
2. Пандеко Я. Г., Губаконя Н. И. Устойчивость и колебания упругих систем. М., «Наука», 1964, с. 336.
3. Стрелков С. А. Введение в теорию колебаний. М.—Л., ГИИТЛ, 1950, с. 339.

С. С. ДАРЫНИАН, А. А. ОВСЕПЯН

К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ДЛЯ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье дается методика решения обратной задачи теории сейсмостойкости для упруго-пластических систем с одной степенью свободы (рис. 1). Аналогичная задача для упругих систем исследована в [1, 3]. При решении поставленной задачи принята билинейная диаграмма деформирования конструкций зданий или сооружений (рис. 2). Предполагается, что рассматриваемая система под сейсмическим воздействием претерпевает лишь сдвиговые колебания. Допускается, что логарифмический декремент собственных колебаний системы δ имеет одинаковые значения для упругих и пластических зон.

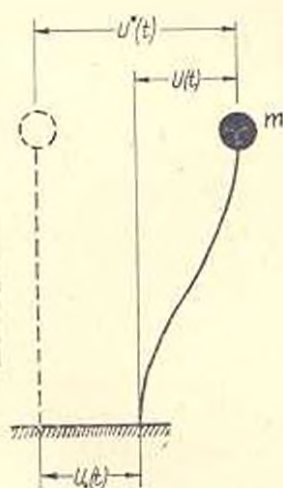


Рис. 1. Расчетная схема деформирования системы с одной степенью свободы.

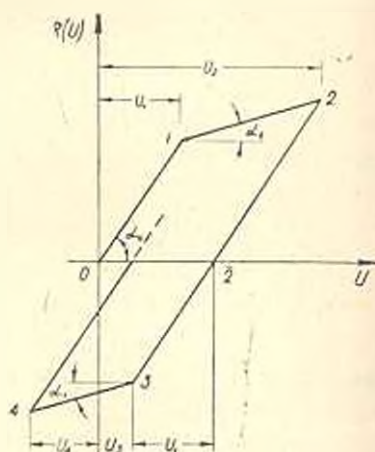


Рис. 2. Билинейная диаграмма деформирования.

1. Дифференциальное уравнение движения сейсмических колебаний системы с одной степенью свободы для упругой стадии (участок 0—1) при решении прямой задачи теории сейсмостойкости может быть записано в следующем виде [2]:

$$\ddot{U}(t) + 2\varepsilon_0 \dot{U}(t) + \omega_0^2 U(t) = -U_0(t), \quad (1.1)$$

где $U(t)$ — (относительное) горизонтальное смещение массы m ; $U_0(t)$ — искомого сейсмическое смещение основания системы; ω_0 и ε_0 — соответственно, круговая частота и коэффициент затухания.

Из рис. 1 следует, что

$$U(t) = U^*(t) - U_0(t). \quad (1.2)$$

Подставляя значения (1.2) в уравнение (1.1), после некоторых преобразований получим [1, 3]:

$$\ddot{U}_0(t) + \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} U_0(t) = f_0^*(t), \quad (1.3)$$

где

$$f_0^*(t) = \frac{1}{2\varepsilon_0} \ddot{U}^*(t) + \ddot{U}^*(t) + \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} U^*(t).$$

Когда движение переходит в зону упрочнения (участок 1—2), тогда $U > U_1 \approx U_*$, и для прямой задачи дифференциальное уравнение движения записывается следующим образом [2]:

$$\ddot{U}(t) + 2\varepsilon_1 \dot{U}(t) + \omega_1^2 U(t) = -U_0(t) - \lambda \omega_0^2 U_1, \quad (1.4)$$

где $\omega_1^2 = \omega_0^2(1 - \lambda)$; $\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_0 \omega_1}{2\pi} = \varepsilon_0(1 - \lambda)^{\frac{1}{2}}$; λ — параметр упрочнения.

После аналогичного преобразования уравнение (1.4) приводится к виду:

$$\ddot{U}_0(t) + \frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} U_0(t) = f_1^*(t), \quad (1.5)$$

где

$$f_1^*(t) = \frac{1}{2\varepsilon_1} \ddot{U}^*(t) + \ddot{U}^*(t) + \frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} U^*(t) + \frac{\lambda \omega_0^2 U_1}{2\varepsilon_1}.$$

В стадии разгрузки (участок 2—2) для прямой задачи дифференциальное уравнение движения имеет вид [2]:

$$\ddot{U}(t) + 2\varepsilon_0 \dot{U}(t) + \omega_0^2 U(t) = -\ddot{U}(t) + \omega_0^2 \lambda (U_{\max} - U_1). \quad (1.6)$$

Используя тот же прием подстановки, получим:

$$\ddot{U}_0(t) + \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} U_0(t) = f_2^*(t), \quad (1.7)$$

где

$$f_2^*(t) = \frac{1}{2\varepsilon_0} \ddot{U}^*(t) + \ddot{U}^*(t) + \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} U^*(t) - \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} \lambda (U_{\max} - U_1).$$

После того, как происходит полная разгрузка, т. е. движение дойдет до точки 2 диаграммы (рис. 2), можно ее принимать за новое на-

чало отсчета движения с соответствующими начальными условиями и составить аналогичные дифференциальные уравнения для следующих стадий движения (участки $\bar{2}-3$; $3-4$; $4-\bar{4}$ и т. д.).

Таким образом, поставленная задача сводится к интегрированию линейных дифференциальных уравнений первого порядка типа (1.3), (1.5) и (1.7) с соответствующими начальными условиями сопряжения на границах отдельных участков диаграммы (точки 1, 2, $\bar{2}$, 3, 4, $\bar{4}$ и т. д.).

2. На упругом участке диаграммы 0-1 (рис. 2) при нулевом начальном условии движения, т. е. при $U_0(0) = 0$, решение (1.3) согласно [1, 3] имеет вид:

$$U_0(t) = \int_0^t \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t-\tau) \right] f_0^*(\tau) d\tau. \quad (2.1)$$

Время $t_1 = t_*$, при котором движение доходит до точки 1 (рис. 2), определяем из (1.2) с учетом (2.1) при $U(t_1) = U_1$:

$$U_1 = U^*(t_*) + \int_0^{t_*} \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t-\tau) \right] f_0^*(\tau) d\tau = 0.$$

При переходе за предел упругости колебательное движение системы описывается дифференциальным уравнением (1.5), решение которого с учетом сопряжения на границе участков 0-1 и 1-2, т. е. при условии $U_0(t_1) = U_{01}$, имеет вид:

$$U_0(t) = \int_{t_*}^t \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t-\tau) \right] f_1^*(\tau) d\tau + U_{01} \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t-t_1) \right]. \quad (2.2)$$

Время t_2 , при котором имеет место максимальное смещение, определяем из (1.2), имея ввиду, что в этот момент скорость движения равняется нулю — $\dot{U}(t_2) = 0$:

$$\begin{aligned} U^*(t_2) - f_1^*(t_2) + \frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} \int_{t_*}^{t_2} \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t_2-\tau) \right] f_1^*(\tau) d\tau + \\ + \frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} U_{01} \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t_2-t_1) \right] = 0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Определив значение t_2 из (2.3) и подставляя в (2.2) и (1.2), получим относительное смещение массы m в момент времени t_2 :

$$\begin{aligned} U(t_2) = U_{\max} = U^*(t_2) - \int_{t_*}^{t_2} \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t_2-\tau) \right] f_1^*(\tau) d\tau - \\ - U_{01} \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t_2-t_1) \right]. \end{aligned} \quad (2.4)$$

В зоне разгрузки (участок 2-2) дифференциальное уравнение имеет вид (1.7), решение которого при условии сопряжения на границе участков 1-2 и 2-2, т. е. $U_0(t_2) = U_{02}$, дает:

$$U_0(t) = \int_{t_1}^t \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t-\tau) \right] f_2^*(\tau) d\tau + U_{02} \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t-t_2) \right]. \quad (2.5)$$

На основании (1.2) и (2.5) для относительного смещения массы m получим:

$$U(t) = U^*(t) - \int_{t_1}^t \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t-\tau) \right] f_2^*(\tau) d\tau - U_{02} \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t-t_2) \right]. \quad (2.6)$$

Момент конца полной разгрузки t_p находим из (2.6) при условии, что относительное смещение равняется максимальному пластическому смещению — $U(t_p) = U_{pl} = \lambda(U_{max} - U_r)$:

$$U^*(t_p) - \lambda(U_{max} - U_r) - \int_{t_1}^{t_p} \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t_p - \tau) \right] f_2^*(\tau) d\tau - U_{02} \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t_p - t_2) \right] = 0. \quad (2.7)$$

Найдя отсюда t_p и подставляя в (2.5), получим величину сейсмического смещения, отвечающую этому моменту.

По этому же принципу можно продолжать решение обратной задачи для второго полуцикла диаграммы (рис. 2) и дальше.

Из всего вышесказанного нетрудно заметить, что полученные решения дифференциальных уравнений по разным участкам можно представить в единообразной форме для всех зон нагружения и разгрузки. Общее дифференциальное уравнение для прямой задачи теории сейсмостойкости сформулируется следующим образом [2]:

$$\ddot{U}(t) + 2\varepsilon_0(1 - \beta_j \lambda)^{\frac{1}{2}} \dot{U}(t) + \omega_0^2[(1 - \beta_j \lambda) U(t) + \beta_j \lambda U_j - (1 - \beta_j) \bar{U}_j - \beta_j U_{j-1}] = -\dot{U}(t), \quad (2.8)$$

где U_j — значение смещения сосредоточенной массы соответствующей точке j диаграммы (рис. 2), которое определяется формулой:

$$U_j = U_{j-1} + (-1)^{\frac{j-1}{2}} U_1 \quad (j = 1, 3, 5, \dots);$$

$\bar{U}_j$ — значение смещения в точке полной разгрузки $\bar{j}$:

$$\bar{U}_j = \lambda \sum_{i=1}^{\bar{j}} (U_i - U_{i-1}) \quad (j = 2, 4, 6, \dots);$$

β_j — постоянный коэффициент, который принимает различные значения для разных участков диаграммы:

$$\beta_j = \begin{cases} 0, & \text{при } j = 0, 2, 4, \dots, \\ 1, & \text{при } j = 1, 3, 5, \dots \end{cases}$$

Поступая аналогично, т. е. подставляя значения (1.2) в дифференциальное уравнение (2.8), получим:

$$U_0(t) + \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (1 - \beta_j \lambda)^{\frac{1}{2}} U_0(t) = f_j^*(t), \quad (2.9)$$

где

$$f_j^*(t) = \frac{1}{2\varepsilon_0 (1 - \beta_j \lambda)^{1/2}} U^*(t) + U^*(t) + \frac{\omega_n^2}{2\varepsilon_0 (1 - \beta_j \lambda)^{1/2}} \times \\ \times [(1 - \beta_j \lambda) U^*(t) + \beta_j \lambda U_i - (1 - \beta_j) \bar{U}_j - \beta_j \bar{U}_{j-1}].$$

Решение уравнения (2.9) в общем виде с учетом сопряжения на границах соответствующих участков $j - j + 1$, т. е. при условии $U_0(t_i) = U_{0j}$, можно представить в таком виде:

$$U_0(t) = \int_{t_j}^t \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (1 - \beta_j \lambda)^{\frac{1}{2}} (t - \tau) \right] f_j^*(\tau) d\tau + \\ + U_{0j} \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (1 - \beta_j \lambda)^{\frac{1}{2}} (t - t_j) \right]. \quad (2.10)$$

Подставляя соответствующие значения j в (2.10), получим уравнения (2.1), (2.2) и (2.5) для отдельных зон упруго-пластического нагружения и разгрузки.

Приведенная методика решения реализована для гармонического воздействия, т. е. $U^*(t) = U \sin pt$. Тогда для каждой зоны соответственно получим:

участок 0—1 —

$$U_0(t) = U \left\{ A \sin pt + B \cos pt - B \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} t \right] \right\},$$

где

$$A = \frac{\omega_0^4 - \omega_0^2 p^2 + 4\varepsilon_0^2 p^2}{\omega_0^4 + 4\varepsilon_0^2 p^2}; \quad B = \frac{2\varepsilon_0 p^2}{\omega_0^4 + 4\varepsilon_0^2 p^2};$$

участок 1—2 —

$$U_0(t) = U \left\{ A_1 \sin pt + B_1 \cos pt - (A_1 \sin pt_1 + B_1 \cos pt_1) \exp \times \right. \\ \times \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t - t_1) \right] \Big\} + \frac{\lambda U_1}{1 - \lambda} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t - t_1) \right] \right\} + \\ + U_{01} \exp \left[-\frac{\omega_1^2}{2\varepsilon_1} (t - t_1) \right].$$

где

$$A_1 = \frac{\omega_1^4 - \omega_1^2 p^2 + 4z_1^2 p^2}{\omega_1^4 + 4z_1^2 p^2}; \quad B_1 = \frac{2z_1 p^2}{\omega_1^4 + 4z_1^2 p^2};$$

участок 2—2—

$$U_0(t) = U \left\{ A \sin pt + B \cos pt - (A \sin pt_2 + B \cos pt_2) \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t - t_2) \right] - \lambda (U_{max} - U_1) \left[1 - \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t - t_2) \right] \right] + U_{in} \exp \left[-\frac{\omega_0^2}{2\varepsilon_0} (t - t_2) \right] \right\}$$

где A и B имеют прежние значения.

Полученные результаты при $T_0 = 2\pi/\omega_0 = 0.25$ с, $T = 2\pi/p = 0.15$ с, $z = 0.5$, $\lambda = 0.5$ приведены на рис. 3.

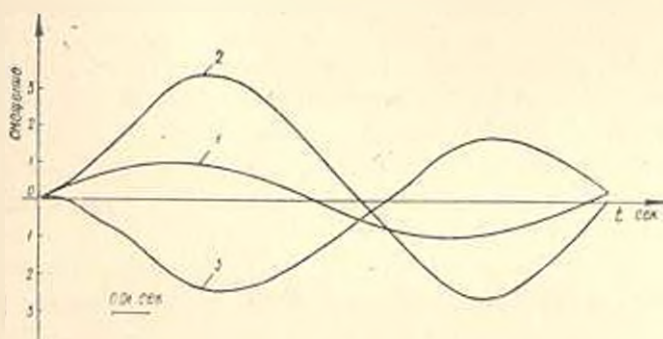


Рис. 3. Изменение смещений во времени: 1— $U'(t)/U$; 2— $U(t)/U$; 3— $U_0(t)/U$.

Приведенная в статье методика решения обратной задачи теории сейсмостойкости позволяет оценить характер и интенсивность сейсмических колебаний на уровне фундамента, при наличии инструментальных записей колебаний на уровне сосредоточенной массы.

ИГИС АН Арм. ССР

Поступило 25. VIII 1981

У. В. ГЕЛЕРКЕЗЯН, А. В. ЗОЛНОВИЧ

ՍԵՅՍՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԱԿԱԴԱՐՁ ԽԵՒՐԻ ԼՈՒՐՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ ԱՌԱՋԴԱՊԼԱՍՏԻԿ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ա Մ Ֆ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում տրվում է սեյսմակայունության տեսության հակադարձ խնդրի լուծման մեթոդը մեկ աղատության աստիճան ունեցող առաձգա-պլաստիկ համակարգերի համար:

Սնվադրվում է, որ դիտարկվող համակարգը կատարում է միայն սահմանափակված աշխատանքներ և վերականգնող ուժի ու տեղափոխության միջև եղած կապը րնութադրվում է պեֆորմացման հրկդժային դիագրամով:

Կազմված են շարժման դիֆերենցիալ հավասարումները, որոնց լուծումները համապատասխան սկզբնական պայմաններով հասցված են մինչև վերջ վերլուծական եղանակով: Լինյումակայունության տեսության հակադարձ խնդիրն ընդհանուր առևրով լուծելու համար ստացված հավասարումները բեռնավորման և բեռնաթափման բոլոր առհամասերի համար ներկայացված են միօրինակ տեսքով:

Բերված մեթոդով խնդրի լուծումը իրականացված է Բվապես՝ հարմոնիկ ազդեցության համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Векуа Т. П. Численное решение обратной задачи теории сейсмостойкости для упругой системы с двумя степенями свободы. Сб. «Сейсмостойкость сооружений», вып. 3, Тбилиси, «Мецниереба», 1974.
2. Дарбян С. С. О поведении сооружений под сейсмическими воздействиями за пределом упругости. «Бюллетень по инженерной сейсмологии», № 8, Ереван, изд. АН Арм. ССР, 1973.
3. Нопствиридзе Ш. Г. Некоторые задачи инженерной сейсмологии. Тбилиси, «Мецниереба», 1973.

ЭНЕРГЕТИКА

Р. А. АМИРИКЯН, И. И. ШАРАБХАНИЯН

КОРРЕКЦИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
С УПРАВЛЯЕМЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В сложных электроэнергетических системах (ЭЭС) возникает задача управления режимами отдельных элементов и оперативного расчета установившегося режима (УР) при соответствующем управляющем воздействии.

Известны два метода определения УР ЭЭС — решением уравнений узловых напряжений в прямой форме, с непосредственным использованием матрицы узловых проводимостей Y , и в обращенной форме, с использованием матрицы узловых сопротивлений Z , полученной обращением Y . О преимуществах первого метода широко известно. Применение второго метода ограничивается необходимостью обращения матрицы высокого порядка при определении УР сложных систем. Однако, в последнее время разработаны ряд алгоритмов, основанных на делении системы на подсистемы, позволяющие значительно сократить время, необходимое для получения Z .

Постановка задачи. Заданы управляемые ветви УВ, активные и реактивные сопротивления ветвей R и X (без присоединения к одной ступени напряжения) схемы замещения сети, коэффициенты трансформации трансформаторов K , активные и реактивные узловые мощности P и Q , базисный узел с напряжением U_0 . Требуется определить УР ЭЭС решением уравнений узловых напряжений в обращенной форме.

Составляются уравнения, выражающие связь между узловыми параметрами для схемы замещения ЭЭС с отключенными УВ. Дополнительно составляется система уравнений, где переменными являются токи УВ I_y [1]. По одному из известных методов [2] определяется УР для ЭЭС с отключенными УВ. По его результатам определяются токи I_y , воздействием которых на ЭЭС в узлах связей УВ определяются дополнительные составляющие вычисляемых параметров.

Алгоритм расчета 1. Рассекаются УВ по их узлам связей и удаляются.

2. Составляется матрица узловых проводимостей Y и определяется матрица узловых сопротивлений $Z_{\text{мат}}$ [3, 4] системы без УВ. При на-

личии в системе УВ, удалением которых система делится на изолированные части, можно пользоваться алгоритмами, описанными в [1, 4]. Если в ЭЭС имеются элементы трансформации с комплексными коэффициентами, то матрица узловых проводимостей определяется следующим образом (рис. 1):

$$\sum_p \hat{I}_{ip} + (\hat{U}_i - \hat{U}_j) Y_T = \hat{J}_i; \quad \left(\hat{U}_i - \frac{\hat{U}_j}{K_{ji}} \right) Y_T = \hat{I}_i;$$

$$\hat{I}_i = -\hat{K}_{ji} \hat{I}_j; \quad \sum_q \hat{I}_{jq} - \frac{1}{\hat{K}_{ji}} \left(\hat{U}_i - \frac{\hat{U}_j}{K_{ji}} \right) Y_T = \hat{J}_j;$$

$$\begin{bmatrix} Y_T & -\frac{Y_T}{\hat{K}_{ji}} \\ -\frac{Y_T}{\hat{K}_{ji}} & \frac{Y_T}{|\hat{K}_{ji}|^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{U}_i \\ \hat{U}_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{I}_i \\ \hat{I}_j \end{bmatrix};$$

$$Y_{ii} = \sum_p Y_{ip} + Y_T; \quad Y_{ij} = -\frac{Y_T}{\hat{K}_{ji}};$$

$$Y_{jj} = \sum_q Y_{jq} + \frac{Y_T}{|\hat{K}_{ji}|^2}; \quad Y_{ji} = -\frac{Y_T}{\hat{K}_{ji}}.$$

где Y_{ii} , Y_{jj} — собственная проводимость, соответственно, узлов i и j ; Y_{ij} , Y_{ji} — взаимная проводимость узлов i и j , j и i ; Y_T — проводимость трансформатора.

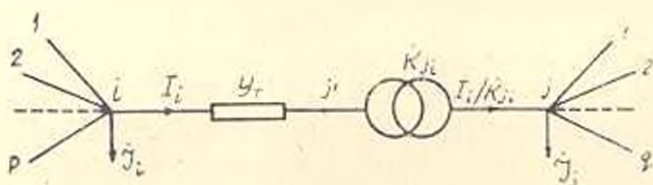


Рис. 1.

Сопротивление (проводимость) трансформатора приводится к ступени высокого напряжения, а коэффициент трансформации трансформатора определяется как отношение напряжения низкой ступени к напряжению высокой ступени $\left(K_{ji} = \frac{\hat{U}_i}{\hat{U}_j} \right)$.

3. Задавшись приближенными значениями напряжений в узлах $\hat{U}_m$, решаются уравнения

$$\hat{U}_m = Z_{mm} \left(\frac{S_m}{\hat{U}_m} + Y_{m\delta} \hat{U}_\delta \right) \quad (1)$$

и определяются узловые напряжения от узловых токов для системы без УВ. Здесь S_m , U_m — комплексно-сопряженная узловая мощность

и напряжение: Y_{ms} — проводимость ветви, соединяющей узел системы m с базисным b , с учетом коэффициента трансформации трансформатора ветви mb .

4. Определяются падения напряжений в УВ, соответствующих напряжениям, вычисленных в п. 3:

$$\Delta \dot{U}_y = -\dot{U}_{yc} \dot{I}'_{c(n)}, \quad (2)$$

где $\dot{C}_{yc}$ — матрица соединений напряжений в узлах УВ. Строки y соответствуют УВ, столбцы c — номерам их узлов связей. Для УВ без элемента трансформации на пересечении соответствующих строки и столбца ставится $+1$, если ток задается входящим в узел связи, и -1 , если — выходящим. Для УВ с элементом трансформации (рис. 1) на пересечении строки и столбца, соответствующего номеру узла типа i , ставится ± 1 и $\mp \frac{1}{K_{ji}}$ на пересечении строки и столбца, соответствующего номеру узла типа j ; $\dot{U}_{c(n)}$ — напряжения в узлах связей УВ, вычисленных по (1); K_{ji} — комплексный коэффициент трансформации трансформатора УВ.

5. Токи $\dot{I}_y$ определяются решением уравнений, описывающих УВ (структура и решение этих уравнений дается ниже).

6. Дополнительные токи в узлах связей $\dot{I}'_c$ УВ, вызванных токами $\dot{I}_y$, равны:

$$\dot{I}'_c = \dot{C}_{cy} \dot{I}_y, \quad (3)$$

где $\dot{C}_{cy}$ — матрица соединений токов УВ в узлах их связей, которая составляется по тому же принципу и имеет аналогичную структуру в транспортированном виде, что и $\dot{C}_{yc}$, только вместо элементов $\frac{1}{K_{ji}}$ записываются соответствующие $\frac{1}{K_{ji}}$: K_{ji} — комплексно-сопряженный коэффициент трансформации трансформатора УВ.

7. Дополнительные узловые напряжения от токов $\dot{I}'_c$:

$$\dot{U}_{m(y)} = Z_{mc} \dot{I}'_c, \quad (4)$$

Z_{mc} получается из Z_{mb} , если оставить в ней столбцы, относящиеся к узлам связей УВ.

8. Результирующие узловые напряжения ЭЭС:

$$\dot{U}_m = \dot{U}_{m(n)} + \dot{U}_{m(y)}. \quad (5)$$

Так как расчет носит итерационный характер, то описанный цикл расчета (п. п. 3 ÷ 8) повторяется до достижения желаемой точности.

Уравнения УВ. Пусть через УВ ij (рис. 1) в общем случае с элементом трансформации K_{ji} проходит ток I_{ij} . Тогда уравнение ветви ij согласно изложенному алгоритму будет:

$$U_{i(n)} + U_{i(y)} - \frac{1}{K_{ji}} (U_{j(n)} + U_{j(y)}) = Z_{ij} I_{ij}, \quad (6)$$

где Z_{ij} — сопротивление ветви ij .

Уравнения УВ в обобщенном виде, согласно изложенному алгоритму можно записать:

$$-C_{ye} (U_{e(n)} + U_{e(y)}) = Z_{yy} I_y, \quad (7)$$

где Z_{yy} — диагональная матрица сопротивлений УВ.

В (6) напряжения в узлах связей (с) $U_{e(n)}$ определяются по (1).

Напряжения от токов I_e :

$$U_{e(y)} = Z_{ee} I_e = Z_{ee} C_{ey} I_y, \quad (8)$$

где Z_{ee} — подматрица узловых сопротивлений относительно узлов связей УВ, которая получается из Z_{nn} , после удаления из нее строк и столбцов, соответствующих номерам узлов, не являющихся узлами связей УВ. Подставив (8) в (7) с учетом (2), получим систему уравнений, где переменными являются I_y :

$$I_y = Y_{yy} \Delta U_y; \quad (9)$$

$$Y_{yy} = Z_{yy}^{-1} = (C_{ye} Z_{ee} C_{ey} + Z_{y(y)})^{-1}. \quad (10)$$

Если Z_{yy} симметричная, что бывает при учете коэффициентов трансформаций их модулями или при отсутствии элементов трансформаций, то ее целесообразно обрабатывать с учетом симметричности.

Заметим, что Z_{yy} остается неизменной за весь итеративный расчет для данного изменения, а $Z_{ee} = C_{ye} Z_{ee} C_{ey}$ — для всех изменений УВ в системе.

Проиллюстрируем описанный алгоритм на схеме сети (рис. 2), сопротивления всех ветвей которой равны 1 Ом. Величины токов I указаны на рис. 2, напряжение базисного узла $U_0 = 0$. Управляемыми являются ветви 1—2 и 1—4.

1. Рассекаются и удаляются ветви 1—2 и 1—4.

2. Для схемы, полученной после процедуры пункта 1, составляется матрица узловых проводимостей, обращая которую, получаем матрицу узловых сопротивлений.

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 3 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 \end{bmatrix}; \quad Z = Y^{-1} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \end{bmatrix}.$$

3. Узловые напряжения от узловых токов:

$$U_{n(n)} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}.$$

4. Падения напряжений в ветвях 1—2 и 1—4, соответствующих напряжениям п. 3:

$$\Delta U_y = - \begin{vmatrix} -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \end{bmatrix};$$

$$Z_{yy} = \begin{vmatrix} -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 1 \\ 0 & 1 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{8} \begin{vmatrix} 21 & 9 \\ 9 & 21 \end{vmatrix}.$$

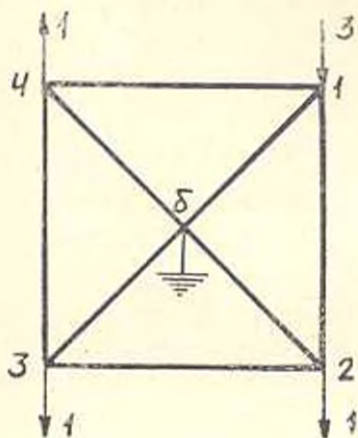


Рис. 2

5. Токи в ветвях 1—2 и 1—4:

$$I_y = \frac{1}{8} \begin{vmatrix} 21 & 9 \\ 9 & 21 \end{vmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \end{bmatrix} = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} 16 \\ 16 \end{bmatrix}.$$

6. Дополнительные токи в узлах 1, 2 и 4 от токов \$I_y\$:

$$I_k = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{15} \begin{bmatrix} 16 \\ 16 \end{bmatrix} = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} -32 \\ 16 \\ 16 \end{bmatrix}.$$

7. Дополнительные узловые напряжения от токов \$I_k\$:

$$U_{n(y)} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 8 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 1 \\ 0 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 5 \end{bmatrix} \frac{1}{15} \begin{bmatrix} -32 \\ 16 \\ 16 \end{bmatrix} = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} -32 \\ 12 \\ 8 \\ 12 \end{bmatrix}.$$

8. Результирующие узловые напряжения:

$$U_n = \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} + \frac{1}{15} \begin{bmatrix} -32 \\ 12 \\ 8 \\ 12 \end{bmatrix} = \frac{1}{15} \begin{bmatrix} 13 \\ -3 \\ -7 \\ -3 \end{bmatrix}$$

В ы в о д ы

Для определения установившегося режима системы с УВ решением уравнений узловых напряжений в обращенной форме существующими методами необходимо для каждого изменения пассивных параметров УВ определить матрицу узловых сопротивлений системы Z обращением измененной матрицы узловых проводимостей, либо скорректировать Z [5], что для сложных систем при частых изменениях пассивных параметров УВ связано с большими затратами машинного времени. По предлагаемому методу Z для схемы сети после удаления УВ определяется один раз. Дополнительные вычисления связаны определением

$U_{n(1)}$.

АрмНИИЭ

Поступило 24. 11. 1980

О. С. ԱՄԻՐԻՅԱՆ, Ի. Ի. ՇԱՐԱԽՅԱՆՅԱՆ

ԿԱՌԱՎԱՐՎՈՂ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԿԵՐԻ ՀԱՍՏԱՏՎԱԿՆ ՌԵԺԻՄԻ ՈՒՂՂՈՒՄԸ

Ա Ն Ո Ւ Ն Ո Ւ Մ

Հաշվարկային օպերացիաների քանակը կրճատելու նպատակով առաջարկվում է ղեկավարվող էլեմենտներով (Ղէ) էլեկտրաէներգետիկական համակարգի (էէՀ) հաստատված ռեժիմի հաշվարկը կատարել երկու փուլով: Սկզբում որոշվում է համակարգի ռեժիմը, առանց հաշվի առնելու հոսքերը Ղէ-ով, այնուհետև դրա արդյունքներով որոշվում են հոսքերը Ղէ-ներում, որոնց ազդեցությամբ էէՀ-ի վրա Ղէ-ի կապերի հանգույցներում որոշվում են համակարգի ռեժիմային պարամետրների լրացուցիչ բաղադրիչները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амрикан Р. А., Шаробхян И. И. Об одном алгоритме установившегося режима энергосистем, входящих в энергообъединение. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXXII, № 1, 1979.
2. Идельчик В. И. Расчеты установившихся режимов электрических систем. М., «Энергия», 1977.
3. Гурский С. К. Алгоритмизация задач управления режимами сложных систем в электроэнергетике. Минск, «Наука и техника», 1977.
4. Шаробхян И. И., Бабаян А. И. К вопросу определения матрицы узловых сопротивлений сложных электроэнергетических систем. «Докл. XX юб. науч.-техн. конф. молод. уч. и спец. ЭНИН им. Г. М. Крижижановского, посвящ. 110-й год. со дня рожд. В. И. Ленина», Деп. в ЭНИН, № Д/647.
5. Гурский С. К., Новицкий Б. Б., Уласевич А. Ф. Формирование обобщенных параметров и уравнений режима электроэнергетических систем с учетом комплексных коэффициентов трансформации. «Известия вузов. Энергетика», 1979, № 2.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

С. С. ШАХКАМЯН

ВОПРОСЫ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ
ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цифровые приборы для измерения температуры в настоящее время находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства.

Улучшение технических характеристик и расширение функциональных возможностей изделий микроэлектроники позволяет повысить эффективность сравнительно простых методов аналого-цифрового преобразования, что раньше было связано со значительными трудностями. Применение метода двухтактного время-импульсного преобразования [1, 2] наряду со схемой простотой обеспечивает и требуемые при технических измерениях метрологические характеристики, как при работе с термопреобразователями сопротивления (ТС), так и с термоэлектрическими преобразователями (ТТ).

Основная функциональная схема преобразователя сигнала термодатчика и интервал времени приведена на рис. 1. Схема состоит из

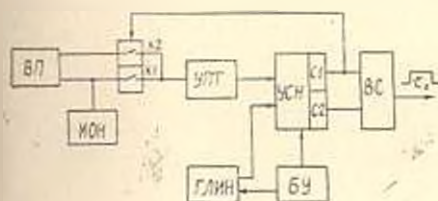


Рис. 1.

входного преобразователя (ВП) сигнала термодатчика и постоянного напряжения, источника опорного напряжения (ИОН), аналоговых ключей К1, К2, усилителя постоянного тока прямого усиления (УПТ), устройства сравнения напряжений (УСН), генератора линейно-изменяющего напряжения (ГЛИН), блока управления (БУ) и временного селектора (ВС). Преобразование происходит в два такта — в первом такте по сигналу БУ запускается ГЛИН и открывается ключ К1. Через некоторое время в момент времени t , выходные напряжения УПТ и ГЛИН становятся равными и происходит первое срабатывание УСН, выходной сигнал С1 которого открывает ключ К2 (закрывая К1) и ВС, на выходе которого формируется передний фронт импульсного сигнала интервала времени t_x . При этом входное напряжение УПТ скачком увеличивается на величину, равную выходному напряжению ВП.

В момент времени τ_x происходит второе срабатывание УСН. выходной сигнал С2 которого закрывает ВС и на его выходе формируется задний фронт сигнала интервала времени τ_x .

Длительность интервала времени равна:

$$\tau_x = K_n \left(U_{вх} + \Delta U_{вх} + \frac{1}{K_y} \Delta U_c \right), \quad (1)$$

где $K_n = K_y/K_r$ — коэффициент преобразования; K_y — коэффициент усиления УПТ; K_r — крутизна выходного напряжения ГЛИН; $U_{вх}$ — выходное напряжение ВП; $\Delta U_{вх}$, ΔU_c — изменения напряжения смещения УПТ и погрешности сравнения УСН за интервал времени τ_x .

Для уменьшения составляющей погрешности ΔU_c в УСН применяется один компаратор для обоих тактов преобразования, предложенный в [2].

В преобразователях, работающих с ТП, целесообразно предусмотреть узел автокомпенсации термо-э.д.с. свободных концов ТП. Тогда в качестве ВП целесообразно применить схему рис. 2, состоящую из

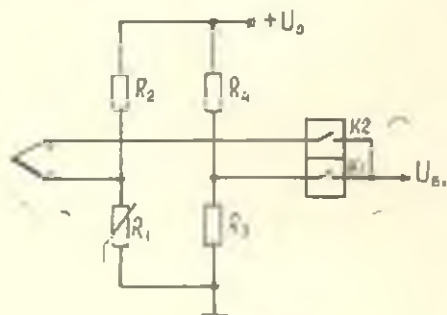


Рис. 2.

двух делителей напряжения. Эквивалентное значение входного напряжения, преобразуемое в интервал времени, равно

$$U_{вх, экв} = E_{тп} + U_1 - U_2, \quad (2)$$

где $E_{тп}$ — термо-э. д. с. ТП; U_1 , U_2 — падения напряжения на резисторах $R1$ и $R3$.

Резистор $R1$ — медный и устанавливается вблизи свободных концов ТП, поэтому имеем:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha T_0), \quad (3)$$

где R_0 — сопротивление при $T_0 = 0^\circ\text{C}$; $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-1} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ т. н. с. медного резистора.

При выборе параметров схемы из условия равенства падений напряжений на резисторах $R1$ и $R3$ при $T_0 = 0^\circ\text{C}$ и удовлетворения условия $U_1 - U_2 = \alpha R_0 I_1 T_0 = K_{тп} T_0$ ($K_{тп}$ — крутизна линеаризованной статической характеристики ТП в диапазоне температур окружающей среды) в процессе измерения осуществится также и автокомпенсация термо-э.д.с. свободных концов ТП. Погрешность измерения температуры с ТП составляет несколько градусов Цельсия и в значительной степени зависит от режима работы ТП [3]. Поэтому основная погрешность ЦТ при работе с ТП из неблагородных металлов (ТХА, ТХК) целесообразно брать не более $\pm 2^\circ\text{C}$ и разработать ЦТ с диапазоном измерений $0-600^\circ\text{C}$ для ТХК и $0-900^\circ\text{C}$ для ТХА, с ценой единицы младшего разряда, равной 1°C . Известно, что ТП имеют нелинейную статическую характеристику, поэтому длительность интервала времени τ_x также не-

линейно зависит от измеряемой температуры. На современном этапе развития микроэлектроники наиболее целесообразно применять цифровую линейризацию, метод расчета схемы которой приведен в [4]. Схема блока преобразования интервала времени в цифровой код с одновременной линейризацией статической характеристики термодатчика приведена на рис. 3.

При этом частота квантующих импульсов на каждом участке кусочно-линейной аппроксимации статической характеристики термодатчика будет определяться выражением

$$f_j = \alpha_j f_0, \quad (1)$$

где α_j — коэффициент линейризации (см. табл.); f_0 — опорная частота.

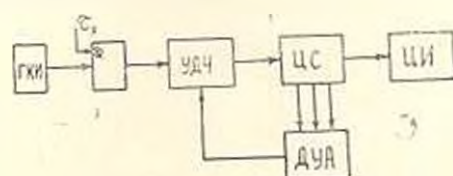


Рис. 3.

Параметры схемы цифровой линейризации статических характеристик ТП приведены в табл. где ΔE_j , ΔT_j — погрешности кусочно-линейной аппроксимации статической характеристики датчика в узловых точках; $\Delta T_{\text{макс}}$ — максимальные значения погрешности внутри данного участка аппроксимации.

Таблица

Вид характеристики	Номер участка	Диапазон аппроксимации, °C		α_j	ΔE_j , мВ	ΔT_j , °C	$\Delta T_{\text{макс}}$, °C
		начало	конец				
ХК	1	0	50	8/7	-0,013	-0,22	0,55
	2	50	100	15/14	-0,003	-0,05	0,1
	3	100	200	1	-0,04	-0,8	2
	4	200	250	9/10	+0,068	-1	0,24
	5	250	300	11/12	0,038	0,5	0,71
	6	300	400	9/10	-0,088	-1,4	0,65
	7	400	500	6/7	+0,019	+0,33	0,6
	8	500	600	7/8	-0,084	-1,4	0,61
ХЛ	1	0	300	1	0	0	-0,82
	2	300	500	19/20	-0,13	+3	-0,8
	3	500	600	1	-0,06	-1,3	-0,87
	4	600	800	19/20	+0,14	+3,1	1,8
	5	800	900	19/18	-0,056	-1,27	-1,2
	6	900	1000	1	-0,069	-1,57	-0,43

При измерении температуры в комплекте с ТС информативный сигнал не равен нулю при измеряемой температуре $T=0^\circ\text{C}$ и имеет одну полярность для отрицательных и положительных температур. Следовательно, в схеме ЦТ необходимо предусмотреть подавление начального сигнала ТС и возможность автоматического определения знака измеряемой температуры.

Для исключения влияния сопротивления соединительной линии на результат измерений необходимо применять четырехпроводную схему подключения ТС.

Медные ТС Государственной системы промышленных приборов (ГСП) выпускаются по классам точности II, III с основной погрешностью $\pm 0,3^\circ\text{C}$ и более. Следует отметить, что для ТСМ кл. II погрешность измерения температуры из-за разброса значений коэффициента α при $T=200^\circ\text{C}$ может составлять примерно $\pm 0,5^\circ\text{C}$, а для ТСМ кл. III будет в два раза больше, поэтому вполне достаточно иметь погрешность дискретности $0,1^\circ\text{C}$.

Погрешность ТС значительно увеличивается в зависимости от режима (температуры и длительности воздействия) работы, поэтому для технических измерений с медными ТС основную погрешность ЦТ целесообразно брать в пределах $0,2 \dots 0,5^\circ\text{C}$. При этом целесообразно разработать 2 модификации ЦТ с диапазоном измерений от -60 до $99,9^\circ\text{C}$ и от -180 до 180°C с ценой единицы младшего разряда $0,1^\circ\text{C}$.

При измерении температуры с платиновыми ТС в ЦТ необходимо предусмотреть устройство линейризации статической характеристики ТС. При широком диапазоне измерений целесообразно использовать цифровую линейризацию и цифровой блок ЦТ построить по схеме рис. 3. Методика расчета и параметры схемы для диапазона измерений от -200 до 650°C приведены в [4].

Для повышения точности измерений с ТС в широком диапазоне внешних влияющих величин целесообразно применять метод образцовой меры. При этом процесс измерения состоит из двух циклов. В первом цикле измеряется сопротивление датчика, а во втором — сопротивление образцового резистора. Функциональная схема такого ЦТ приведена на рис. 4. Питание ВП осуществляется от источника напряжения (ИН), который гальванически развязан от остальных узлов ЦТ. В качестве ИОН используется падение напряжения на резисторе R2 и одном соединительном проводе. В качестве источника входного напряжения ГЛИН используется падение напряжения на резисторе R3. Такая схема ВП обеспечивает исключение влияния изменений напряжения ИН и соединительной линии на результат измерений. Схема работает следующим образом. В первом цикле сигнал устройства управления (УУ) замыкает ключ К1, дает разрешение на переключение ключей К3, К5, запускает ГЛИН, устанавливает УСН на начальное состояние, а РЦС — на режим работы «сложение».

Эквивалентное входное напряжение УПТ и крутизна ГЛИН равны

$$U_{\text{вх}} = IR_{\text{ТС}}, \quad K_T = \frac{IR_3}{\tau_i}, \quad (5)$$

где I — измерительный ток датчика; $R_{\text{ТС}}$ — сопротивление ТС; τ_i — постоянная времени интегрирующей цепи ГЛИН.

Следовательно, в конце первого цикла на РЦС будет записано число

$$N_{\text{с}} = f_K \tau_K = K_{\text{вп}} R_{\text{ТС}} = N_0 + N_T, \quad (6)$$

где f_k — частота квантующих импульсов; $K_{пр} = f_k K$ — коэффициент преобразования сопротивления в число импульсов;

$$\tau_x = K_y \frac{R_{TC}}{R_1} \tau_r = K_y R_{TC}.$$

Во втором цикле сигнал УУ замыкает ключ К2 (размыкая К1), дает разрешение на переключение ключей К4 и К5, заново запускает ГЛНН и устанавливает УСН на начальное состояние, а РЦС — на режим работы «вычитание». В конце второго цикла на РЦС будет записано число

$$N_T = N_X - N_0. \quad (7)$$

где $N_0 = K_{пр} \cdot R_1$; R_1 — сопротивление образцового резистора, равное сопротивлению ТС при $T = 0^\circ\text{C}$.

Для медного ТС получим:

$$N_T = K_{пр} \cdot \alpha \cdot R_1 \cdot T = K_T T, \quad (8)$$

где $K_T = K_{пр} \cdot \alpha \cdot R_1$ — коэффициент преобразования температуры.

При переходе РЦС через нулевое состояние, которое имеет место при измерении отрицательных температур, необходимо РЦС автоматически переключить на режим работы «сложение». Следовательно, знак измеряемой температуры определится по состоянию РЦС в конце цикла измерения.

ГСКБ ПЭА

Поступило 15. X. 1981

Ս. Ս. ՇԱՂԿԱՄՅԱՆ

ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԹՎԱՅԻՆ ԶԱՓԻՉ ՍԱՐԳԵՐԻ ԿՈՌՈՅՎԱԾՔԱՅԻՆ
ՍԱՆԱԿՆՄԱՆ ՀԱՐՑԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Տրված է ջերմաստիճանի թվային չափիչ սարքերի հիմնական ֆունկցիոնալ սխեման ջերմադիմադրությունների և ջերմադույզերի սարքերի ստատիկական բնութագրեր ունեցող սովիչների հետ աշխատելու դեպքում, հիմնադրված են թվային ջերմաչափերում սովիչի սպդանշանը թվային կոդի ձևափոխելու մեթոդները և սխեմայի հիմնական պարամետրերի որոշման համար րերված են հաշվարկային բանաձևեր:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гитис Э. Н. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., «Энергия», 1975.
2. Шахматян А. С., Шахматян С. С. Устройство сравнения напряжений. Авт. свид. № 627350, БИ № 37, 1978.
3. ГОСТ 3041—77. Преобразователи термоэлектрические, градуировочные таблицы.
4. Куликовский К. Л., Шахматян А. С., Шахматян С. С. Метод расчета схемы цифровой линеаризации функции преобразования измерительных устройств. «Приборы и системы управления», 1978, № 8.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ю. М. ГАСПАРЯН, П. М. МОВСЕСЯН, А. Л. ИЕРЕСЯН

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ПОРОГА В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ

В некоторых алгоритмах классификации качество контролируется с помощью некоторого функционала [1—3] и ищется оптимальная классификация, которая бы максимизировала (или минимизировала) этот функционал. При большом количестве классифицируемых объектов число рассматриваемых вариантов разбиения на классы резко возрастает, что приводит к большим затратам времени на классификацию. Поэтому целесообразно уменьшить число рассматриваемых вариантов путем исключения из рассмотрения тех вариантов разбиения, которые заранее выглядят нецелесообразными. Для этого в некоторых алгоритмах классификации меры близости между объектами сравниваются с порогом значимости T . Если меру близости между парами объектов X_i и X_j ($i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, N}$) представить как элементы матрицы связей $A = (a_{ij})_{N \times N}$, то после сравнения с порогом T из матрицы A формируется новая матрица $D = (d_{ij})_{N \times N}$, состоящая из нулей и единиц [4], где

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{ij} > T, \\ 0, & \text{если } a_{ij} \leq T. \end{cases} \quad (1)$$

Для классификации можно воспользоваться матрицей D . Благодаря тому, что часть элементов матрицы D равна нулю, число возможных вариантов разбиений существенно сокращается по сравнению с разбиением с использованием матрицы A .

Очевидно, что степень заполненности матрицы D зависит от значения порога значимости T . В случае, когда меры близости нормированы в интервале $[0, 1]$, при значении порога значимости $T = 0$ все объекты попарно считаются похожими, т. е. матрица состоит из одних единиц, и каждый объект может войти в любой класс. В случае, когда $T = 1$, все недиагональные элементы матрицы D равны нулю и объекты попарно не похожи — каждый объект составляет самостоятельный класс. При промежуточных значениях $T \in [0, 1]$ матрица D заполняется единицами частично. Следовательно, при больших значениях T матрица D будет слабо заполненной, т. е. будут преобладать нулевые эле-

менты, что уменьшит число рассматриваемых вариантов и приведет к упрощению процедуры классификации. При небольших значениях T и матрице D преобладают единицы и процедура классификации усложняется. Следует иметь в виду также, что при сравнении мер близости a_{ij} с порогом, т. е. при аппроксимации матрицы A матрицей D теряется некоторая информация, содержащаяся в матрице A . При этом, чем ближе значение T к единице, тем ошибка аппроксимации будет больше.

Множество объектов и взаимосвязь между объектами можно представить в виде взвешенного графа G , вершинами которого являются объекты $x_1, \dots, x_N$, а весами ребер (x_i, x_j) , $(i = \overline{1, N}; j = \overline{1, N})$ — элементы a_{ij} , $(i = \overline{1, N}; j = \overline{1, N})$ матрицы A . После сравнения элементов матрицы A с порогом, она аппроксимируется D , которая представляет собой матрицу инцидентности невзвешенного помеченного графа Γ . Если $d_{ij} = 1$, то существует ребро между вершинами X_i и X_j , и если $d_{ij} = 0$, то отсутствует ребро, соединяющее вершины X_i и X_j . Сравнение мер близости a_{ij} с порогом T фактически аппроксимирует взвешанный граф G невзвешанным, помеченным графом Γ .

Классификация на основе графа Γ (матрицы D) тем труднее, чем больше: а) количество вершин графа (количество объектов); б) число ребер в графе (число единиц в матрице D); в) общее количество путей, соединяющих пары вершин.

Перечисленные условия, которые характеризуют трудности проведения классификации, можно объединить в одну характеристику графа Γ с помощью понятия комбинаторной сложности графа, введенной в [5]. Функция комбинаторной сложности графа представляется формулой [5]:

$$\chi(\Gamma) = \frac{N \cdot M}{N + M} \sum_{\substack{(i,j) \\ (i,j) \in E}} \sum_{k=1}^{\infty} \tau_k(i, j), \quad (2)$$

где N, M — число вершин и ребер графа; $\tau_k(i, j)$ — число путей длины k из вершины X_i к вершине X_j . Функцию сложности (2) можно представить и в другом виде:

$$\chi(\Gamma) = \frac{N \cdot M}{N + M} \sum_{\substack{(i,j) \\ (i,j) \in E}} \tau_{ij}, \quad (3)$$

где τ_{ij} — общая суммарная длина путей, соединяющих пару вершин i и j .

Очевидно, что значение функции сложности $\chi(\Gamma)$ графа Γ зависит от значения порога значимости T . Для упрощения процедуры классификации необходимо выбрать T таким образом, чтобы функция (2) принимала минимальное значение, а от значения порога T зависит и ошибка аппроксимации.

В некоторых алгоритмах классификации в качестве меры близости между двумя объектами используется передача информации $I(X_i, X_j)$, но при этом не учитываются информационные взаимосвязи между тремя и большим числом объектов. В этом случае элементами матрицы связей A являются передачи информации между двумя объектами: $a_{ij} = I(X_i, X_j)$; $a_{ii} = a_{ii}$. После сравнения с порогом, передачам информации между двумя объектами присваиваются значения либо «1», либо «0» в соответствии с (1). Потерю информации вследствие аппроксимации можно количественно оценить величиной

$$\Delta I = \left| \sum_{\substack{(i,j) \\ i > j}} I(X_i, X_j) - \sum_{\substack{(i,j) \\ i > j}} d_{ij} \right|. \quad (5)$$

Теперь задача определения оптимального значения порога значимости T сводится к определению такого значения T , при котором комбинаторная сложность графа Γ принимала бы минимальное значение, а потеря информации (5) не превышала заданное значение. Математически это можно представить в виде задачи математического программирования, т. е.

$$\begin{aligned} \min_{\Gamma} \chi(\Gamma), \\ \Delta I \leq \Delta I_{\text{доп}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Задачу (6) можно решать поисковыми алгоритмами.

С ростом порога значимости T убывает число единиц в матрице D , следовательно, уменьшаются числа ребер и путей в графе Γ . Поэтому функция сложности $\chi(\Gamma)$ является монотонно невозрастающей относительно порога значимости T , т. е. при $\Delta T > 0$, $\Delta \chi(\Gamma) \leq 0$. Функция потери информации (5) состоит из разности двух членов, один из них $\sum I(X_i, X_j)$ имеет постоянное значение, а второй — $\sum d_{ij}$ — с ростом порога T монотонно убывает. Следовательно, пока $\sum I(X_i, X_j) < \sum d_{ij}$, потеря информации ΔI с ростом T убывает. При некотором значении порога T_m , ΔI имеет минимальное значение. Начиная с этого значения рост порога T сопровождается монотонным ростом ΔI . Таким образом, при изменении T от 0 до T_m функция ΔI монотонно не возрастает, а при изменении T от T_m до 1 ΔI монотонно не убывает, т. е. является унимодальной функцией от T .

Из свойств функций $\chi(\Gamma)$ и ΔI следует, что для решения задачи (6) можно применить итерационные алгоритмы градиентного типа.

Построим функцию Лагранжа:

$$\Phi(T, \lambda) = \chi(\Gamma) + \lambda \Theta(T), \quad (7)$$

где λ — неопределенный множитель Лагранжа, а $\Theta(T) = \Delta T_{\text{доп}} - \Delta I$.

Решение задачи (6), которое соответствует минимуму функции (7), определяется итерационной процедурой вида:

$$T^{n+1} = T^n - \alpha \left| \frac{\chi^n(\Gamma) - \chi^{n-1}(\Gamma)}{T^n - T^{n-1}} + \frac{\Theta^n - \Theta^{n-1}}{T^n - T^{n-1}} \right|,$$

$$T^{n+1} = \max \{0, T^n + \alpha \Theta^n\}, \quad (8)$$

$$\alpha > 0,$$

где α — параметр, характеризующий размер шага, а $\chi^n(\Gamma)$, Θ^n , χ^* — значения соответствующих величин при значении порога T^n . Значения $\chi(\Gamma)$ и Θ , как функции порога T , имеют ступенчатый характер, поэтому итерационная процедура (8) при малых изменениях T может останавливаться в пологих областях функций $\chi(\Gamma)$ и Θ . Во избежание этого, функции $\chi(\Gamma)$ и Θ можно сглаживать операторами, либо сделать шаг α в процедуре (8) переменным.

При большом количестве классифицируемых объектов, вычисление комбинаторной сложности формулами (2) и (3) трудоемко, поэтому при больших значениях N можно пользоваться оценками функции сложности, приведенными в [5].

ЕрIII иж К. Маркся

Поступило 26.V.1981

ՅՈՒ. Դ. ԴԱՐՅԱՆՍԻԱՆ, Վ. Դ. ԴՈՎՈՆՈՅԱՆ, Ա. Լ. ԿՆՈՆՆՅԱՆ:

ՆԵՄՔԻ ԹՅՏԻՄՈՒԼ ԴԵՏՈՒԹՅԱՆ ԸՆՏՐՈՒԹՅԱՆ ՀԵՐՑԻ
ՎԵՐԱԵՐՅԱԼ ԳՈՄԱԿԱՐԳՐԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՐ

Ա. Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Դիտարկվում է դասակարգման խնդիրներում շեմքի օպտիմալ մեծության ալգորիթմ: Այդ խնդրի լուծման համար հաշվի է առնվում դրաֆի կամ-րինատոր բարդությունը: Հոդվածում բերվում է շեմքի օպտիմալ մեծության բնութման ալգորիթմը, որը ապահովում է նվազագույն բարդություն տրված սխալի մակարդակի դեպքում: Դիտարկված ալգորիթմը կարելի է օպտիմիզացիա ստանդարտիզացիայի համարման, նույնականացման ժամանակ խնդրմատիկ պարամետրերի բնութման խնդիրներում և այլն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Браверман Э. М. и др. Диагонализация матрицы связей и выявление скрытых факторов. Сб. «Проблемы расширения возможностей автоматов», вып. 1, М., «Наука», 1971.
2. Куперитох В. Л., Миркин Б. Г., Трофимов В. А. К обоснованию одного критерия классификации. Сб. «Методы моделирования и обработка информации», Новосибирск, Сиб. отд. изд. «Наука», 1976.
3. Kozmiz Warren L. C., Narendra Patrenahall M., Fukunaga Reinosuke. A branch and bound clustering algorithm. IEEE Trans. Comp., v. 24, № 9, 1975.
4. Бонер Р. Е. Некоторые методы классификации. Сб. пер. «Автоматический анализ сложных изображений», под. ред. Э. М. Бравермана, М., «Мир», 1969.
5. Minoli D. Combinatorial graph complexity. «Atti della Accademia nazionale dei Lincei, Rendiconti classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali», v. 59, № 6, 1975.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ф. А. ГРИГОРЯН, Р. Е. АРУТЮНЯН, Г. Г. БАГДАСАРЯН

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Технический уровень промышленных изделий в настоящее время определяется, в основном, путем экспертных оценок. Одновременно ведутся работы по совершенствованию расчетного метода, в котором исключена экспертная оценка и ожидается относительно большая достоверность результатов.

В настоящей работе уточняются и дополняются исходные положения расчетного метода, сопоставляются разные постановки задачи.

В первом приближении обобщенный технический показатель изделия равен

$$K_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad m > n, \quad (1)$$

где $a_{i1}, \dots, a_{in}$ — известные технические показатели i -го изделия; $x_1, \dots, x_n$ — неизвестные коэффициенты весомости показателей.

Так как K_i неизвестно, то система (1) становится определенной после введения дополнительных условий.

Разные постановки задачи расчетного метода отличаются дополнительными условиями. Первая постановка задачи отличается условием $K_i = 0$. Принимается, что изделия, определяющие систему уравнений (1), имеют равные обобщенные технические показатели. Отметим, что случай, когда все K_i равны, легко приводится к случаю $K_i = 0$ преобразованием системы (1).

Метод стоимостных регрессионных зависимостей, приведенный в [1], можно характеризовать как задачу с условием $K_i = 0$. Здесь $K_i = 0$ неявное, оно приводит к несовместности системы уравнений (1), что исключается определением x , не приравнивающих, а максимально приближающих K_i к нулю. При такой постановке задача решается математическим методом наименьших квадратов [2].

В [3] задача решена при условиях $K_i = 0$, ($K_i = 1$) и $m = n$. В этом случае несовместимость исключена, однако не определены критерии для выборки подсистемы с близкими значениями K_i .

Вторая постановка задачи определяется условием $\lambda = 0$. Равенство нулю собственного значения λ матрицы подсистемы, образованной из системы уравнения (1), является необходимым, но недостаточ-

ным условием равенства K , в подсистеме; такая задача поставлена в [4] и решена в [5].

Сравнительная точность решений при первой и второй постановках выявляется при геометрическом представлении задачи. n -мерная векторная геометрия успешно применена и рекомендована в [2] при обосновании метода наименьших квадратов. Систему уравнений (1) представим в виде:

$$K = A \cdot \bar{X}, \quad (2)$$

где A — матрица элементов a выражения (1); $\bar{X}$ — вектор коэффициентов весомости.

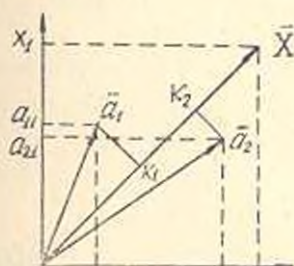


Рис. 1. Векторное представление систем уравнений (1).

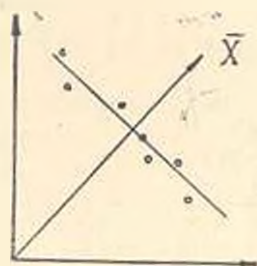


Рис. 2. Решение методом наименьших квадратов.

На рис. 1 приведено геометрическое представление выражения (2) для простого случая. Здесь каждому из векторов $\bar{a}_i$ и $\bar{a}_j$ соответствует одно изделие с показателями a_{i1}, a_{i2} и a_{j1}, a_{j2} . Проекции векторов $\bar{a}_i$ и $\bar{a}_j$ на вектор $\bar{X}$ определяют, соответственно, K_i и K_j . Проекции $\bar{X}$ на координатные оси определяют x_1 и x_2 . На рис. 2 представлено геометрическое решение, соответствующее методу наименьших квадратов. Точки на рисунке представляют вершины векторов $\bar{a}_i$. Решению соответствует линия (направление вектора $\bar{X}$), проведенная через начало координат перпендикулярно к аппроксимирующей линии, проходящей через множество точек.

На рис. 3 приведен характерный случай получения разных результатов при разных постановках задачи. В рассматриваемом случае точки (концы векторов $\bar{a}_i$) расположены на равностороннем треугольнике. Решение по методу наименьших квадратов неустойчивое и малые отклонения $\bar{a}_i$ приводят к одному из трех совершенно разных решений.

Условие $\lambda = 0$ определяет три решения, соответствующие трем линиям рисунка 3. Так как заранее известны знаки проекции вектора $\bar{X}$, то из полученных решений выделяется искомое.

Третья постановка задачи отличается условием постоянства слагающих K_i . Для изделий равного технического уровня часто может иметь место случай, когда составные части обобщенного показателя технического уровня K_i также являются постоянными. Выделение постоянных слагающих позволяет определить связи вида $a_i = f_i(a_{i1}, a_{i2})$:

$a_i = f_i(a_1, a_4)$, тогда обобщенный технико-экономический показатель можно представить в виде

$$K = \frac{a_1}{f_1(a_3, a_4)} + \frac{a_2}{f_2(a_3, a_4)} \quad (3)$$

Покажем возможность аналитического представления обобщенного показателя технического уровня в отдельных случаях, в частности, когда каждое из устройств образуется добавлением звеньев одного типа. Путем подключения параллельных и последовательных диодов составим

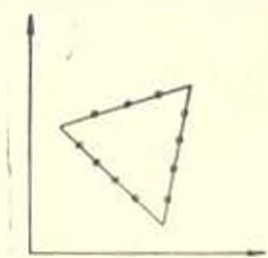


Рис. 3. Решение определением собственного значения матрицы.

«выпрямляющие устройства» разных токов и напряжений. Для выпрямительного устройства введем обозначения: S — стоимость; V — объем; T — надежность; I — ток; U — напряжение.

Здесь U и I — величины, приведенные к одному диоду.

Так как произведение UI определяет количество диодов в устройстве, то:

$$S = x_1 UI; \quad V = x_2 UI; \quad T^{-1} = x_3 UI, \quad (4)$$

где x_1, x_2, x_3 — коэффициенты пропорциональности.

Принимая технический уровень постоянным, обобщенный показатель, согласно выражению (3), представится в виде:

$$K = (x_1^{-1}S + x_2^{-1}V + x_3^{-1}T^{-1}) \frac{1}{UI} \quad (5)$$

Здесь основные технико-экономические показатели приведены к одному показателю мощности, что привело к выделению коэффициентов весомости. Возможность такого решения указана в [6] на примере оценки проектов кораблей. Оценим точности представления функции технического уровня через многомерный ряд.

Проведенный анализ числовых данных одного класса вторичных источников электропитания показал, что связь технико-экономических показателей достаточно точно представляется выражением

$$V = c_1 + (c_2 + c_3 U) I, \quad S = c_4 + (c_5 + c_6 U) I, \quad (6)$$

где $c_1, c_2, \dots, c_6$ — постоянные величины. Тогда, согласно выражению (3):

$$K = \frac{V}{c_1 + (c_2 + c_3 U) I} + \frac{S}{c_4 + (c_5 + c_6 U) I} \quad (7)$$

Выражение (7) весьма приближенно может быть представлено ограниченным рядом в виде системы (1). Расширение ряда, с целью повышения точности представления, приводит к большому числу неизвестных постоянных. В большинстве задач, представляющих практический интерес, в системе (1) m превышает n не более, чем в 2—3 раза, что затрудняет определение большого количества постоянных.

Предварительное выявление постоянных составляющих функции технического уровня позволяет уточнить вид функции и, как следствие, повышать точность расчета. При этом целесообразно отделить показатели, определяющие назначение изделия (выходные токи и напряжения в случае блоков питания) от таких, определяющих необходимые издержки (цены, объем в случае блоков питания). Отношение каждого переменного второй группы к функции от переменных первой группы определяет составную часть обобщенного показателя технического уровня.

ЕРНИИММ

Поступило 10. VIII. 1981

Յ. Հ. ԿՐԻՍՏՅԱՆ, Ի. Ե. ԶԱՐԻՅԱՆՅԱՆ, Գ. Դ. ԲԱԿՆԱՍՅԱՆ

ԱՐԿԻՏՈՆԱՐԵՐԱԿԱՆ ԱՊՐԱՆՔՆԵՐԻ ՏՆՔՆՈՒԿԱԿԱՆ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԽԱԿԻՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկվում են դրույթներ, որոնք հիմնված են մատրիցայի սեփական արժեքներին և տեխնիկական մակարդակի ցուցանիշի բաղադրիչ մասերի անփոփոխության զնահատման վրա:

Ցույց է արվում այդ դրույթների արդյունավետությունը միայն հայտնի ամենափոքր բառակուսիների մաթեմատիկական մեթոդի հիման վրա խնդրադրման ստացվող արդյունքի նկատմամբ: Լուծման ճշտությունը ղեկավարվում է տիպիկ օրինակում՝ խնդիրը դիտարկելով վեկտորային երկրաչափության տեսանկյունով:

Համասեռ և բարդ կառուցվածքով սարքերի համար դուրս են բերված տեխնիկական ցուցանիշների մաթեմատիկական արտահայտությունները:

Ստացված արտահայտությունը ցույց է տալիս, որ դիտարկվող ղեկավարմ ճշտությունը ավելի բարձր է, քան հայտնի ղեկավարմ, երբ ֆունկցիան ընդհանուր տեսքով պատկերացվում է որպես մի քանի փոփոխականների սեղանային շարքի առաջին մոտարկում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Методика оценки уровня качества продукции с помощью комплексных показателей и индексов. М., «Стандарты», 1974, с. 18—20.
2. Кадматорп А. Н. К обоснованию метода наименьших квадратов. «Успехи математических наук», т. 1, вып. 1 (11), 1945, с. 57—70.
3. Григорян Ф. А., Дарбинян А. А. Общий критерий для оценки ряда модифицированных устройств на основе технико-экономических статистических показателей. «Вопросы радиоэлектроники», сер. ЭВТ, вып. 6, 1969, с. 110—114.
4. Григорян Ф. А. Задача определения качества изделий. ЦАН Арм.ССР, т. LXII, № 3, 1976, с. 129—131.
5. Григорян Ф. А., Амбарян А. Ш. Оценка технико-экономического уровня изделий. «Вопросы радиоэлектроники», сер. ЭВТ, вып. 14, 1980, с. 108—112.
6. Крылов А. П. Об оценках, представленных на конкурсе проектов. Собр. соч., т. 1, ч. 1. М.—Л., «Наука», 1951, с. 248.

ГИДРАВЛИКА

О. В. ТОКМАДЖЯН

РАСЧЕТ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ
В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ С ЗАДАННОЙ СВОБОДНОЙ
ПОВЕРХНОСТЬЮ

В переходных участках каналов, безнапорных трубах и гидротехнических сооружениях часто имеет место неравномерное движение жидкости.

Помимо решения прямой задачи: определения кривой свободной поверхности при заданной форме и законам изменений по пути русла, представляет интерес и решение обратной задачи, т. е. определение размеров русла при заданной свободной поверхности.

Допустим, функция кривой свободной поверхности имеет вид: $z = f(l)$. Для вывода дифференциального уравнения неравномерного движения жидкости напомним уравнение Бернулли относительно двух сечений, отдаленных на расстояние dl

$$\frac{d}{dl} \left(z + \frac{v^2}{2g} \right) = -J, \quad (1)$$

где z — ордината свободной поверхности произвольного сечения. Остальные обозначения общепринятые.

Преобразуя (1) и выражая гидравлический уклон по формуле Шези, получим дифференциальное уравнение неравномерного движения жидкости относительно $\frac{dw}{dl}$:

$$\frac{dw}{dl} = \frac{dz}{dl} \frac{g w^3}{\alpha Q^2} + \frac{g w}{\alpha C^2 R}, \quad (2)$$

Анализ уравнения (2) показывает, что переход через критическую глубину происходит непрерывно.

Интегрирование дифференциального уравнения (2) производится на ЭВМ. В частном случае свободную поверхность представим в виде наклонной плоскости. Практический интерес представляет решение задачи при полукруглом, прямоугольном и трапециевидальном поперечном сечениях русла.

1. Рассмотрим движение жидкости в канале с полукруглым поперечным сечением, кривая свободной поверхности которой меняется по линейному закону $z = z_0 - \beta l$, где $\beta = \operatorname{tg} \psi$. Для полукруглого поперечного сечения (рис. 1) гидравлические параметры будут:

$$\omega = r^2 \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right); \quad R = r \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4\varphi} \right); \quad (3)$$

$$c = \frac{1}{n} r^3 \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4\varphi} \right)^y,$$

где r и φ — переменные величины произвольного сечения.

Представим полный дифференциал $\frac{d\omega}{dl}$ в виде:

$$\frac{d\omega}{dl} = \frac{\partial \omega}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial \varphi} \frac{d\varphi}{dl}. \quad (4)$$

Подставляя эти выражения в (2) и замечая, что $\frac{dz}{dl} = -\beta$, получим:

$$\frac{\partial \omega}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial \varphi} \frac{d\varphi}{dl} = -\beta \frac{gr^2 \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)^3}{\alpha Q^2} + \frac{gn^2 r^{1+2y} \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)}{\alpha \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4\varphi} \right)^{1+2y}}. \quad (5)$$

Радиус в произвольном сечении, в зависимости от переменного угла, будет

$$r = \frac{r_0 \cos \varphi_0 + \beta l}{\cos \varphi}, \quad (6)$$

где r_0 и φ_0 — параметры начального сечения.

Учитывая (6), находим частные производные $\frac{\partial \omega}{\partial l}$ и $\frac{\partial \omega}{\partial \varphi}$:

$$\frac{\partial \omega}{\partial l} = 2\beta \frac{\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2}}{\cos^2 \varphi} (r_0 \cos \varphi_0 + \beta l); \quad (7)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \varphi} = (r_0 \cos \varphi_0 + \beta l)^2 \varphi \frac{\sin 2\varphi}{\cos^4 \varphi}. \quad (8)$$

Дифференциальное уравнение неравномерного движения жидкости в канале с полукруглым поперечным сечением, кривая свободной поверхности которой меняется линейным законом, примет следующий вид:

$$\frac{d\varphi}{dl} = - \frac{\beta g (r_0 \cos \varphi_0 + \beta l)^4 \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)^3}{\varphi \alpha Q^2 \cos^3 \varphi \sin 2\varphi} - \frac{\beta \cos \varphi \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)}{(r_0 \cos \varphi_0 + \beta l) \varphi \sin \varphi} +$$

$$+ \frac{gn^2 \cos^{2+2y} \varphi \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)}{\alpha \varphi \sin 2\varphi (r_0 \cos \varphi_0 + \beta l)^{1+2y} \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4\varphi} \right)^{1+2y}}. \quad (9)$$

При $\beta = 0$ (горизонтальная свободная поверхность) (9) примет вид:

$$\frac{d\varphi}{dl} = \frac{gn^2 \cos^{1-2y} \varphi \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2} \right)}{2\varphi r_0^{1+2y} \cos^{1-2y} \varphi_0 \sin 2\varphi \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4\varphi} \right)^{1-2y}} \quad (10)$$

В случае, когда $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (полное наполнение полукруглого канала), уравнение (2) решается аналитически относительно переменного радиуса:

$$r = \left[\frac{2^{2y} n^2 g}{g} l(1+2y) + r_0^{1+2y} \right]^{1/(1+2y)} \quad (11)$$

2. Рассмотрим движение жидкости в канале с прямоугольным поперечным сечением.

Гидравлические параметры для прямоугольного сечения будут:

$$\omega = bh; \quad R = \frac{bh}{2h+b}; \quad c = \frac{1}{n} \left(\frac{bh}{2h+b} \right)^y \quad (12)$$

Определим конфигурацию канала при заданном законе изменения ширины русла по пути $b = f(l)$ и законе изменения кривой свободной поверхности $z = f(l)$.

Преобразуя (2) с учетом (12), представим полный дифференциал $\frac{d\omega}{dl}$ в виде:

$$\frac{d\omega}{dl} = \frac{\partial \omega}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial l} \quad (13)$$

Так как $\frac{\partial \omega}{\partial h} = b$, для данного случая получим:

$$\frac{dh}{dl} = - \frac{\partial \omega}{\partial l} \frac{1}{b} + \frac{dz}{dl} \frac{gb^2 h^3}{2Q^2} + \frac{n^2 g (2h+a)^{1+2y}}{2b^{1+2y} h^{2y}} \quad (14)$$

Если законы изменения кривой свободной поверхности и ширины русла по пути линейные — $z = z_0 - \beta l$; $b = b_0 + \gamma l$, где $\beta = \operatorname{tg} \psi$, $\gamma = \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$, то уравнение (14) примет вид:

$$\frac{dh}{dl} = - \frac{\gamma h}{b_0 + \gamma l} - \beta \frac{gb^2 (b_0 + \gamma l)^2}{2Q^2} + \frac{n^2 g (b_0 + 2h + \gamma l)^{1+2y}}{2(b_0 + \gamma l)^{1+2y} h^{2y}} \quad (15)$$

Пример. Требуется определить конфигурацию бетонного ($n=0,017$) прямоугольного расширяющегося канала при коэффициентах расширения в плане $\eta = 0,01$ и наклона свободной поверхности $\beta = 0,002$. В начальном сечении глубина воды $h_0 = 4$ м.

На рис. 2 приведена конфигурация канала для вышеуказанных данных. Расчет произведен на ЭВМ «Напри-2» методом, разработанным в [1].

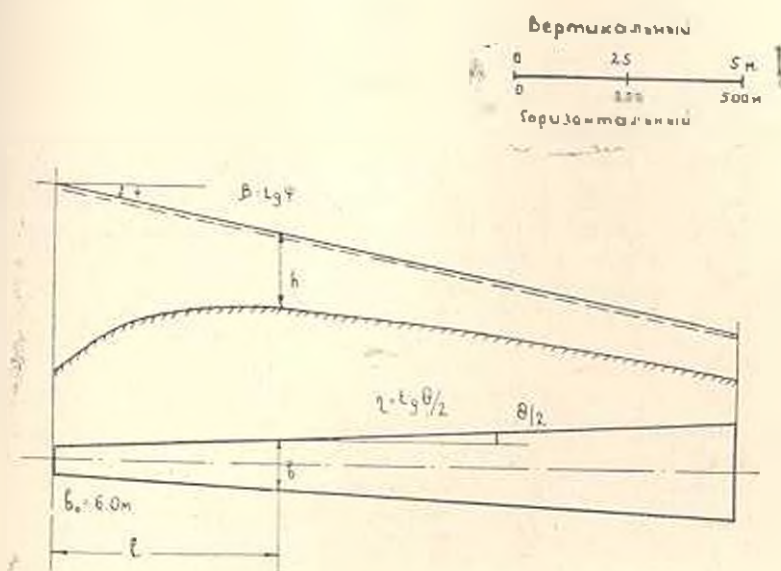


Рис. 2.

Для призматического канала с горизонтальной свободной поверхностью уравнение (15) примет вид:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{n^2 g (b_0 + 2h)^{1+2y}}{\alpha b^{1+2y} h^{2y}} \quad (16)$$

Аналогичными преобразованиями получим дифференциальное уравнение при заданном изменении глубины русла

$$\frac{db}{dl} = -\frac{\partial \omega}{\partial l} \frac{1}{h} + \frac{dz}{dl} \frac{g b^2 h^2}{\alpha Q^2} + \frac{g n^2 (2h + b)^{1+2y}}{\alpha b^{2y} h^{1+2y}} \quad (17)$$

Если законы изменения кривой свободной поверхности и глубины русла по пути линейные $z = z_0 - \beta l$, $h = h_0 - \lambda l$, то уравнение (17) примет вид:

$$\frac{db}{dl} = -\frac{\lambda b}{(h_0 + \lambda l)} - \frac{\beta g b^3 (h_0 + \lambda l)^2}{\alpha Q^2} + \frac{g n^2 (b + 2h_0 + 2\lambda l)^{1+2y}}{\alpha (h_0 + \lambda l)^{1+2y} b^{2y}} \quad (18)$$

а при $\lambda = 0$ и $\beta = 0$ (канал постоянной глубины с горизонтальной свободной поверхностью) —

$$\frac{db}{dl} = \frac{g n^2 (b + 2h_0)^{1+2y}}{\alpha h_0^{1+2y} b^{2y}} \quad (19)$$

3. Рассмотрим неравномерное движение жидкости в каналах трапециевидального сечения (рис. 3). Гидравлические параметры будут:

$$m = \operatorname{ctg} \alpha, \quad \omega = h(b + mh); \quad R = \frac{h(b + mh)}{b + 2h \sqrt{1 + m^2}}; \quad (20)$$

$$C = -\frac{1}{n} \frac{h^3 (b + mh)^3}{(b + 2h \sqrt{1 + m^2})^3}.$$

Преобразуя (2), получим:



Рис. 3.

$$\frac{dh}{dl} = -\frac{\partial \omega}{\partial l} \frac{1}{b + 2mh} + \frac{dz}{dl} \frac{gh^3 (b + mh)^3}{(b + 2mh)^3 Q^2} + \frac{gn^2}{\alpha} \frac{(b + 2h \sqrt{1 + m^2})^{1+2\gamma}}{h^{2\gamma} (b + mh)^{2\gamma} (b + 2mh)} \quad (21)$$

Если законы изменения кривой свободной поверхности и ширины русла по пути линейные $z = z_0 - \beta l$, $b = b_0 + \eta l$, то уравнение (21) примет вид:

$$\frac{dh}{dl} = -\frac{\beta h}{b_0 + 2mh + \eta l} - \beta \frac{gh^3 (b_0 + \eta l + mh)^3}{\alpha Q^2 (b_0 + \eta l + 2mh)} + \frac{gn^2 (b_0 + \eta l + 2h \sqrt{1 + m^2})^{1+2\gamma}}{\alpha h^{2\gamma} (b_0 + \eta l + mh)^{2\gamma} (b_0 + \eta l + 2mh)} \quad (22)$$

а при $\beta = 0$, $\eta = 0$ (призматический канал с горизонтальной свободной поверхностью) —

$$\frac{dh}{dl} = \frac{gn^2}{\alpha} \frac{(b + 2h \sqrt{1 + m^2})^{1+2\gamma}}{h^{2\gamma} (b + mh)^{2\gamma} (b + 2mh)} \quad (23)$$

Выводы

1. При расчете неравномерного движения жидкости в открытых руслах при заданном изменении кривой свободной поверхности за расчетное нужно принять дифференциальное уравнение (2).

2. Анализ дифференциального уравнения (2) показывает, что при заданной кривой свободной поверхности переход через критическую глубину происходит непрерывно.

3. Полученные дифференциальные уравнения, в основном, интегрируются на ЭВМ, а в некоторых простых случаях — аналитически.

ԲԱՑ ՀՈՒՆԵՐՈՒՄ ՏՐՎԱԾ ԱԶԱՏ ՄԱԿԵՐՆՎՈՒՑԹՈՎ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ
ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱԶԱԿ ՇԱՐԺՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ստացված է տրված ազատ մակերևույթի կտրով հեղուկների անհավասարաչափ շարժման դիֆերենցիալ հավասարումը ընդհանուր ձևով և մասնակիորեն՝ կիսակտր. ուղղանկյունի և սեղանաձև կտրվածքով հունների համար:

Ստացված դիֆերենցիալ հավասարումները մեծամասամբ ինտեգրվում են էՂՄ-ի միջոցով, իսկ որոշ պարզ դեպքերում՝ վերլուծական եղանակով: Լուծված է թվային օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Токмаджян В. О. К интегрированию дифференциального уравнения неравномерно-го движения жидкости в открытых руслах. «Межвуз. сб. науч. тр. ЕрПИ. Строительство и архитектура», сер. XII, вып. 3. Ереван, изд. ЕрПИ, 1977, с. 149—152.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Ջ. Մ. ԱԳԱԲԱՅԱՆ, Վ. Դ. ԿՈՇԱՐՅԱՆ, Ա. Տ. ՕՎԱԿԻՄՅԱՆ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИГАТЕЛЯ ТИПА ДСР
 ПРИ ПИТАНИИ ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

В неполнительных механизмах постоянной скорости все большее применение находят синхронные двигатели с электромагнитной редукцией частоты вращения типа ДСР. Это объясняется стремлением максимально приблизить неполнительный двигатель к рабочим органам и упростить кинематические цепи. Определение статических и динамических характеристик двигателей типа ДСР позволяет перейти к проектированию и созданию регулируемых тихоходных электроприводов малой мощности, обладающих высокой экономичностью и надежностью, быстродействием и малыми габаритами. С этой целью поставлена задача создания математической модели типа ДСР, позволяющая исследовать переходные и квазистационарные режимы при питании от однофазной сети.

Актуальность рассматриваемой темы обусловлена также тем, что двигатели данного типа серийно выпускаются в республике. Предлагается также выпуск регулируемых электроприводов на базе двигателей типа ДСР.

На рис. 1 приведена схема соединения обмоток двигателя ДСР к однофазной сети. Математическая модель составлена при следующих допущениях: магнитная система принимается ненасыщенной, т. е. индуктивности фаз являются функциями только углового положения ротора Θ ; высшие гармоники в кривых индуктивностей фаз не учитываются; величины коэффициентов взаимной индуктивности обмоток несоседних полюсов пренебрегаем; полюсы моделируются как идеальные катушки.

Потокосцепление j -той фазы равно:

$$\Psi_j = \sum_{i=1}^{j-1} L_{ji}(\Theta) I_i, \quad (1)$$

где L_{ji} — коэффициент собственной индуктивности j -той фазы, когда $j=i$, и коэффициенты взаимной индуктивности соседних фаз, когда $j \neq i$. Каждая из величин L_{ji} экспериментально определена и аппроксимирована функциями вида:

$$L_{ji} = d_{ji} + a_{ji} \cos(\Theta).$$

Электромагнитный момент M можно определить с помощью известного соотношения [1]:

$$M = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^6 \left(I_j^2 \frac{dL_{jj}(\theta)}{d\theta} + 2I_j I_{j+1} \frac{dL_{j,j+1}(\theta)}{d\theta} \right). \quad (2)$$

Уравнение электрического равновесия j -той фазы запишется в следующем виде:

$$U_j = I_j (R_j + \alpha_j R_d) + \frac{d\psi_j}{dt}, \quad (3)$$

где U_j — напряжение, прикладываемое к j -той фазе; α_j — коэффициент, учитывающий введение добывочного сопротивления R_d и цепь фазы двигателя; $\alpha_j = 0$, когда диод соответствующей j -той фазы пропускает ток; $\alpha_j = 1$, когда диод j -той фазы не пропускает ток.

Согласно схеме, приведенной на рис. 1, левые части дифференциальных уравнений (3), соответственно, равны:

$$U_1 = U_2 = U; \quad U_3 = U_4 = U_c; \quad U_5 = U_6 = -U - U_c,$$

где U , U_c — напряжение однофазной сети и на конденсаторе с емкостью C .

Величину U_c можно определить из следующего уравнения:

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{I_c}{C} = \frac{I_5 - I_6 - I_3 - I_4}{C}, \quad (4)$$

где I_c — ток, проходящий по цепи конденсатора.

Уравнение движения записывается в виде:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt}; \quad \omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad (5)$$

где M_c , J — приведенные момент сопротивления и момент инерции; ω — угловая скорость вращения ротора.

Математическая модель двигателя ДСР представляется системой шести алгебраических уравнений (1), уравнением (2), шестью дифференциальными уравнениями (3), уравнениями (4) и (5).

При однофазной схеме включения двигателей типа ДСР особый интерес представляет определение вращающегося результирующего вектора *м.д.с.* При условии равенства числа витков каждой фазы, можно перейти от результирующего вектора *м.д.с.* к результирующему вектору тока.

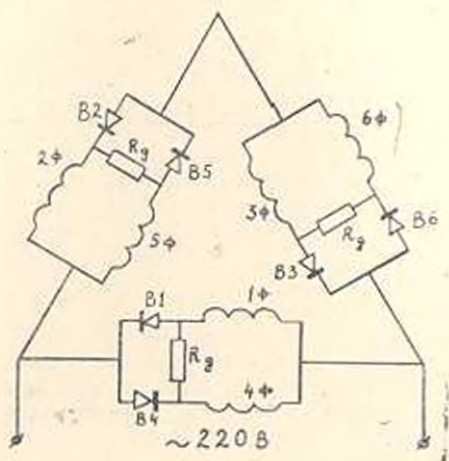


Рис. 1. Схема соединения обмоток двигателя к однофазной сети.

В данном случае при решении системы вышеперечисленных уравнений, токи фаз определяются в системе неподвижных координат a, b, c . Более удобен расчет результирующего вектора тока в ортогональной системе координат α, β , где ось α совпадает с осью d .

Модуль результирующего вектора тока:

$$I = \sqrt{I_\alpha^2 + I_\beta^2}, \quad (6)$$

$$\text{где } I_\alpha = I_1 + I_2 - \frac{I_3 + I_4 + I_5 + I_6}{2}, \quad I_\beta = \frac{1}{2} \sqrt{3} (I_3 + I_4 - I_5 - I_6).$$

Угол, образуемый вектором I с осью β :

$$\varphi = \arg \operatorname{tg} \frac{I_\alpha}{I_\beta}.$$

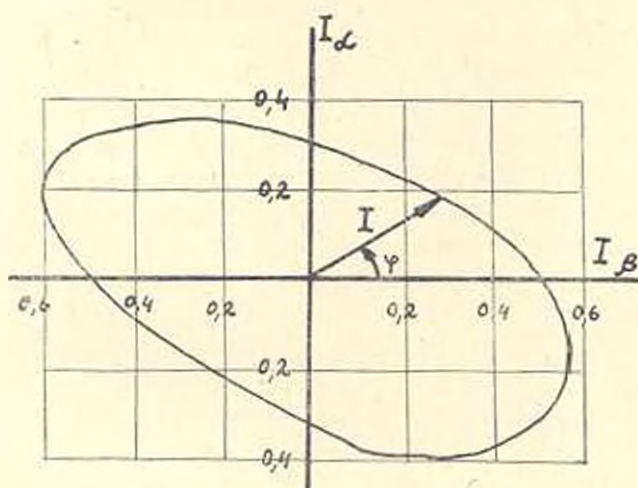


Рис. 2. Траектория вращения результирующего вектора тока при $M_c = 1.2 \text{ Нм}$ и $I = 0.01 \text{ Нмс}^2$.

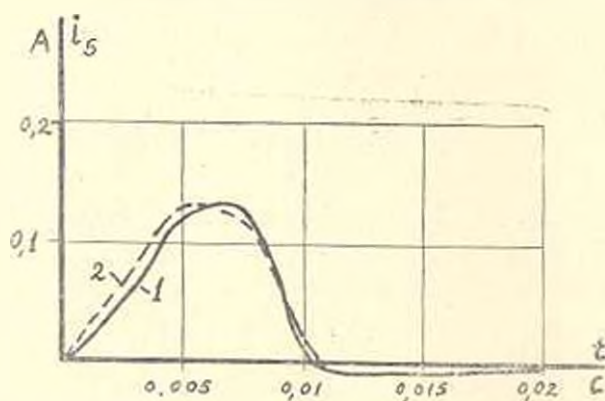


Рис. 3. Экспериментальный (1) и расчетный (2) графики тока в пятой фазе двигателя.

На основании всех вышеперечисленных соотношений составлены программы для расчета пуска двигателя под нагрузкой, а также опре-

деления траектории вращения результирующего вектора тока, когда двигатель работает в квазистационарном режиме. Расчеты проводились на ЕС1022.

На рис. 2 приведен годограф тока.

Адекватность предлагаемой модели проверена путем сравнения расчетов с экспериментально снятыми характеристиками. Результаты расчетов достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными, что иллюстрируется на рис. 3.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 20 X 1981

Л И Т Е Р А Т У Р А

Шмиц Н., Новотный М. Введение в электромеханику М., «Энергия», 1960.

ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

4. Մ. Եղիշյան: Կարդալորվող մեխանիզմների նախագծումը զծայիև ֆունկցիայի երկու
քառոցակ գնեւրատորների զուգակցման եղանակով 3
9. Մ. Նսայան: Խառատային հաստօցի ոչ պարբերական անկայունության հարցի վե-
րաքերյալ 9

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱ

- Ա. Ա. Հովսեփյան, Ս. Ս. Դարբինյան: Սխալմակայունության տեսության հակադարձ խնդրի
լուծման հարցի մասին՝ առաձգա-պլաստիկ համակարգերի համար 14

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

- Ի. Հ. Ամիրիկյան, Ի. Ի. Շարաբխանյան: Կառավարվող էլեմենտներով էթեկարաէներգետի-
կական համակարգերի հաստատված ռեժիմի ուղղումը 21

ՋԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

- Ս. Ս. ՇԱՂԳԱՄՅԱՆ: Ջերմատիճանի թվային չափիչ սարքերի կառուցվածքային նա-
խագծման հարցերը 27

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

- Յու. Մ. Կասսարյան, Վ. Մ. Մովսեսյան, Ա. Լ. Ներսիսյան: Դասակարգման խնդիրներում
շեմքի օպտիմալ մեծության ընտրության հարցի վերաբերյալ 32
- Տ. Հ. Գրիգորյան, Ի. Ն. Հաբությունյան, Գ. Գ. Ռադդասարյան: Արդյունաբերական ապ-
րանքների տեխնիկական մակարդակի որոշման խնդիրը 36

ՀԻՄԻԱՎՃԻՐԱԿԱՆ

- Հ. Վ. Քոնմալյան: Բաց հունեւրում տրված ազատ մակերևույթով հեղուկների անհավասա-
րայափ շարժման հաշվարկը 40

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈԹՆՐ

- է. Մ. Աղաբաբյան, Վ. Հ. Քաչարյան, Ա. Ս. Հովսեփյան: ԴԱՐ մակնիշի շարժիչի մա-
թեմատիկական մոդելը միաֆազ ցաւցից սնման դեպքում 46

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- К. М. Езичян. Проектирование регулируемых механизмов путем комбинирования двух четырехзвенных генераторов линейной функции . . . 3
- Н. М. Есаян. К вопросу об апериодической неустойчивости токарного станка . . . 9

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. С. Дарбинян, А. А. Овсепян. К вопросу решения обратной задачи теории сейсмостойкости для упруго-пластических систем . . . 14

ЭНЕРГЕТИКА

- Р. А. Амирян, Н. Н. Шарабханян. Коррекция установившегося режима электроэнергетической системы с управляемыми элементами . . . 21

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. С. Шахкян. Вопросы структурного построения цифровых измерителей температуры . . . 27

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- Ю. М. Гаспарян, В. М. Мовсесян, А. Л. Нерсисян. К вопросу выбора оптимального значения порога в задачах классификации . . . 32
- Ф. А. Григорян, Р. Е. Арцунян, Г. Г. Багдасарян. Задача определения технологического уровня промышленных изделий . . . 36

ГИДРАВЛИКА

- О. В. Токмаклян. Расчет неравномерного движения жидкости в открытых руслах с заданной свободной поверхностью . . . 10

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- Э. М. Алабян, В. Г. Кочарян, А. С. Ошакимян. Математическая модель двигателя типа ДСР при питании от однофазной сети . . . 16