

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ  
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ  
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ  
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԵՐԻՍ

Կասյան Ս. Վ. (պատ. խմբագիր), Արսնյ Հ. Տ. (տրամ. խմբագրի տեղակալ), Ալեխանյան  
Վ. Վ., Անանյան Ա. Կ., Փոստան Տ. Ա., Զապոյան Բ. Ա., Կարապետի Ա. Կ., Տեր-Ազատի Բ. Ա.,  
Փինաշյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)  
Փաստաբանական բարձրագույն սանիտար Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ редактор), Аванц Г. Т. (зам. ответ. редактора), Алексеевский  
В. В., Аникин А. К., Гороян Т. А., Задоян М. А., Назиров А. Г., Пинаджян В. В.  
(зам. ответ редактора), Тер-Азарова Н. А.  
Ответственный секретарь Стопянян Э. К.

Խմբագրության նստավայրը Երևան—19, Բարեկամության փող. 24ա  
Адрес редакции Ереван 19, ул. Барекамутян, 24-г.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Կ. Լ. ՏԱՐԿԻՅԱՆ

К ТЕОРИИ СИНТЕЗА ПЛОСКИХ ШАРНИРНЫХ  
 МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОМ КВАДРАТИЧЕСКОГО  
 ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ

В работе [2] впервые поставлена и решена задача об определении точек плоской фигуры, которые в произвольном числе заданных положений располагаются вблизи от дуги окружности, причем близость понимается в смысле наименьших квадратов. Изучены свойства геометрического места указанных точек с указанием их максимального числа.

В настоящей статье представлено новое решение этой задачи, основанное на использовании специальных коэффициентов, которые по установившейся традиции в литературе по синтезу механизмов называются множителями Лагранжа [1]. Основная цель работы — установление взаимосвязи между существующей теорией алгебраического синтеза механизмов и основными результатами обобщенной кинематической геометрии, развиваемой в [2].

Плоская фигура  $e$  занимает  $N$  конечно удаленных положений на неподвижной плоскости  $E$ . Эти положения заданы значениями величин  $X_{0i}, Y_{0i}, b_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, N$ ), определяющих координатную систему  $x_0y_0$ , неразрывно связанную с  $e$ , относительно системы  $XOY$ , неразрывно связанной с  $E$  (рис. 1). Требуется найти такую пару точек  $B \in e$  и  $A \in E$ , расстояние которых в заданных  $N$  положениях плоскости  $e$  по возможности мало отличается от постоянной  $R$ . Положения  $B_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, N$ ) искомой точки  $B$ , очевидно, должны лежать вблизи от окружности радиуса  $R$  с центром в точке  $A$ .

Подлежащие определению параметры  $x_A, y_A, X_A, Y_A, R$  должны минимизировать по модулю отклонения  $\Delta_i = |\overline{AB}_i| - R$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ).

Задачу минимизации отклонений  $\Delta_i$  можно свести к эквивалентной задаче минимизации значения  $\Delta_{qi}$  взвешенной разности

$$\Delta_{qi} = (AB_i)^2 - R^2 = (\overline{r_{B_i}} - \overline{r_A})^2 - R^2 = \Delta_i(R + |\overline{AB}_i|), \quad (1)$$

поскольку переменный коэффициент  $R + |\overline{AB}_i|$  при хорошем приближении достаточно близок к постоянной  $2R$ .

С учетом известных формул преобразования координат



$$C_{10}X_A + C_{21}Y_A + C_{12}H + C_{13}x_B + C_{14}y_B + C_{15}P_5 + C_{16}P_6 + \lambda_0 x_B + \lambda_1 y_B = \gamma_1,$$

$$C_{20}X_A + C_{21}Y_A + C_{22}H + C_{23}x_B + C_{24}y_B + C_{25}P_5 + C_{26}P_6 = \gamma_2, \quad (6)$$

$$C_{30}X_A + C_{31}Y_A + C_{32}H + C_{33}x_B + C_{34}y_B + C_{35}P_5 + C_{36}P_6 - \lambda_1 X_A + \lambda_0 Y_A = \gamma_3,$$

$$C_{40}X_A + C_{41}Y_A + C_{42}H + C_{43}x_B + C_{44}y_B + C_{45}P_5 + C_{46}P_6 + \lambda_0 X_A + \lambda_1 Y_A = \gamma_4,$$

где через  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  обозначены выражения:

$$\lambda_0 = C_{50}X_A + C_{51}Y_A + C_{52}H + C_{53}x_B + C_{54}y_B + C_{55}P_5 + C_{56}P_6 - \gamma_5,$$

$$\lambda_1 = C_{60}X_A + C_{61}Y_A + C_{62}H + C_{63}x_B + C_{64}y_B + C_{65}P_5 + C_{66}P_6 - \gamma_6, \quad (7)$$

а коэффициенты  $C_{kl}$  и  $\gamma_k$  определяются по формулам:

$$C_{kl} = \sum_{i=1}^N f_{ki} f_{li}; \quad \gamma_k = \sum_{i=1}^N F_i f_{ki}.$$

$$(k=0, 1, 2, \dots, 6; \quad l=0, 1, 2, \dots, 6).$$

Из уравнений (6) и (7) можно составить следующую систему:

$$\begin{bmatrix} C_{00} & C_{01} & C_{02} & C_{03} - \lambda_1 & C_{04} - \lambda_0 & C_{05} & C_{06} \\ C_{10} & C_{11} & C_{12} & C_{13} + \lambda_0 & C_{14} + \lambda_1 & C_{15} & C_{16} \\ C_{20} & C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{30} - \lambda_1 & C_{31} + \lambda_0 & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{40} + \lambda_0 & C_{41} + \lambda_1 & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{50} & C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{60} & C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ H \\ x_B \\ y_B \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_0 \\ \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \gamma_5 + \lambda_0 \\ \gamma_6 + \lambda_1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Теперь, решая по правилу Крамера систему (8), параметры  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $H$ ,  $x_B$ ,  $y_B$ ,  $P_5$  и  $P_6$  можно выразить как функции от  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$ :

$$\{X_A, Y_A, H, x_B, y_B, P_5, P_6\} = \frac{1}{D} [D_{X_A}, D_{Y_A}, D_H, D_{x_B}, D_{y_B}, D_{P_5}, D_{P_6}], \quad (9)$$

Подставляя (9) в уравнения (3), получаем две билинейные формы от входящих в (9) определителей:

$$F_1(\lambda_0, \lambda_1) = D_{x_B} D_{X_A} + D_{y_B} D_{Y_A} - D D_{P_5} = 0,$$

$$F_2(\lambda_0, \lambda_1) = D_{x_B} D_{Y_A} - D_{y_B} D_{X_A} - D D_{P_6} = 0. \quad (10)$$

Условимся рассматривать числа  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  как координаты некоторой точки в некоторой системе прямоугольных координат  $\lambda_0 O \lambda_1$ . Это позволяет нам сопоставить любой паре чисел  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  определенную точку координатной плоскости  $\lambda_0 O \lambda_1$ , которую обозначим  $\Omega$ . Уравнения (10) задают на плоскости  $\Omega$  алгебраические кривые  $F_1$  и  $F_2$ . Решая для общих точек  $F_1$  и  $F_2$  систему (8), находим стационарные точки функций (4). Из них для нас представляют интерес точки минимума, которые должны быть выделены после изучения частных производных второго порядка.

Каждой из точек минимума  $P^*(X_A, Y_A, H, x_B, y_B)$ , которой соответствует достаточно малое значение суммы  $S$ , следовательно и  $\Delta_{\mu}$ , можно сопоставить некоторый рычаг с центром в  $A(X_A, Y_A)$  и длиной  $R = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + 2H}$ , шарнирно соединенный с плоскостью  $e$  в точке  $B(x_B, y_B)$ . Присоединив к плоскости  $e$  два таких рычага, получим неподвижный четырехшарнирник, шатунная плоскость которого проходит достаточно близко от заданных положений плоскости  $e$ .

Перейдем теперь к изучению свойств кривых  $F_1$  и  $F_2$  с целью установления максимального числа их вещественных общих точек.

С помощью теоремы Лапласа старшие члены в разложении определителя  $D$  могут быть представлены в следующем виде:

$$(i_0^2 + i_1^2)^2 \begin{vmatrix} C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{vmatrix}$$

Кроме того, можно заметить, что члены третьего порядка этого многочлена содержат общий множитель  $(i_0^2 + i_1^2)$ . Это означает, что уравнение  $D=0$  определяет биверкулярную кривую четвертого порядка. Аналогично, анализируя остальные определители, можно показать, что  $d_{X_A}, d_{Y_A}, d_{x_B}, d_{y_B}$  — циркулярные кривые четвертого порядка (квартики), а  $d_{C_1}$  и  $d_{C_2}$  — биверкулярные кривые пятого порядка (квинтики).

С учетом результатов проведенного анализа старшие члены в уравнениях (10) записываются в следующем виде:

$$(i_0^2 + i_1^2)^4 P_3^1(i_0, i_1) + (i_0^2 + i_1^2)^3 P_4^1(i_0, i_1) + (i_0^2 + i_1^2)^2 P_5^1(i_0, i_1) + \dots \\ (i_0^2 + i_1^2)^4 P_3^2(i_0, i_1) + (i_0^2 + i_1^2)^3 P_4^2(i_0, i_1) + (i_0^2 + i_1^2)^2 P_5^2(i_0, i_1) + \dots$$

где  $P_3^1(i_0, i_1)$  и  $P_3^2(i_0, i_1)$  — первого,  $P_4^1(i_0, i_1)$  и  $P_4^2(i_0, i_1)$  — четвертого, а  $P_5^1(i_0, i_1)$  и  $P_5^2(i_0, i_1)$  — пятого порядка однородные многочлены от  $i_0, i_1$ . Можно показать, что кривые девятого порядка  $F_1$  и  $F_2$ , определяемые уравнениями (10), несмотря на наличие множителя  $(i_0^2 + i_1^2)^4$  в выражении членов девятого порядка, проходят через циклические точки всего трижды, к тому же доказываемся, что  $F_1$  и  $F_2$  имеют общие касательные и циклических точках.

Из однородной формы уравнений (10) следует, что все точки  $(i_0, i_1)$ , для которых  $D_{X_A}, D_{Y_A}, D_{x_B}, D_{y_B}, D_{C_1}, D_{C_2}, D$  одновременно равны нулю, будут общими двойными точками для кривых  $F_1$  и  $F_2$ . Попробуем установить максимальное число подобных точек. Они должны быть определены из условия равенства шести ранга расширенной матрицы системы (8). Для этого необходимо и достаточно, чтобы любые два минора седьмого порядка в расширенной матрице

обратились в нуль и в то же время не все общие для них миноры шестого порядка стали нулем. Возьмем, например, определители  $D$  и  $D_{x_A}$ . Соответствующие им кривые  $d$  и  $d_{x_A}$  имеют 16 общих точек, из которых четыре совпадают с циклическими, а еще четыре обращают в нуль все миноры шестого порядка, общие для  $D$  и  $D_{x_A}$ . В итоге число точек, для которых ранг расширенной матрицы—шесть, равно  $16 - 4 - 4 = 8$ . К тому же результату можно прийти, если рассмотреть пересечение любых двух из вышеуказанных кривых. Таким образом, из 81 общей точки кривых  $F_1$  и  $F_2$  32 совпадают с указанными восьмью точками.

Исключая из множества 81 общей точки  $F_1$  и  $F_2$  вышеуказанные 32 точки, а еще 24 точки, совпадающие с циклическими, получим, что максимальное число нециклических общих точек кривых  $F_1$  и  $F_2$ , для которых система (8) имеет единственное решение (ранг расширенной матрицы равен семи), равно 25. Данный вывод полностью подтверждается результатами работы [2].

Когда  $N=4$ , коэффициенты—определители при членах нулевого, первого и второго порядка в уравнениях (10), —обращаются в нуль тождественно, и, следовательно, начало системы координат  ${}^1_0O_1$  является общей тройной точкой для кривых  $F_1$  и  $F_2$ . При  $\lambda_0=0$ ,  $\lambda_1=0$  все определители в (9) равны нулю, и, поэтому, условия (3) нельзя привести к уравнениям (10). В данном случае задача решается следующим образом. Ранг расширенной матрицы системы (8) при  $\lambda_0=0$ ,  $\lambda_1=0$ ,  $N=4$  равен четырем, и, поэтому,  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $P_5$  и  $P_6$  могут быть представлены через  $H$ ,  $x_B$  и  $y_B$  по любым четырем уравнениям этой системы. Таким образом, имеем:

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} = [K_j] \cdot \begin{bmatrix} H \\ x_B \\ y_B \\ 1 \end{bmatrix},$$

где  $[K_j]$ —квадратная матрица четвертого порядка, элементы которой—определители четвертого порядка, составленные из коэффициентов  $C_{0i}$  и  $\gamma_i$ .

Подставляя эти соотношения в любое из равенств (3) и исключая  $H$ , получим кубическое уравнение относительно  $x_B$  и  $y_B$ . Легко убедиться, что оно есть уравнение кривой круговых точек плоскости  $e$ . В самом деле, для каждой круговой точки имеют место равенства  $\Delta_{0i}=0$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), которые после преобразования дают нам условия  $\lambda_0=0$  и  $\lambda_1=0$ . Итак, при  $N=4$  всей кривой круговых точек, фиксированной в плоскости  $e$ , соответствует единственная точка  $O$  плоскости  $\Omega$ .

Если же  $N=5$ , в уравнениях (10) члены нулевого и первого порядка обращаются в нуль, а кривые  $F_1$  и  $F_2$  дважды проходят через начало системы  ${}^1_0O_1$ . При значениях  $\lambda_0=0$ ,  $\lambda_1=0$  ранг расширен-

ной матрицы системы (8) становится равным пяти. В данном случае с помощью любых пяти уравнений системы (8) неизвестные  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $H$ ,  $P_5$  и  $P_6$  можно выразить в виде линейных функций от  $x_B$  и  $y_B$ . После подстановки этих функций в равенства (3) получаем два кубических уравнения относительно  $x_B$  и  $y_B$ . На пересечении соответствующих кубических кривых лежат точки Бурместера. Этот вывод следует из того факта, что систему (9) при  $N=5$ ,  $i_0=0$ ,  $i_1=0$  можно преобразовать в систему уравнений  $\Delta q_i=0$  ( $i=1, 2, 3, 4, 5$ ). Таким образом, при  $N=5$  точкам Бурместера плоскости  $e$  в плоскости  $\Omega$  соответствует начало  $O$  системы  $i_0 O i_1$ .

При  $N=6$  в уравнениях (10) отсутствуют свободные члены и кривые  $F_1$ ,  $F_2$  опять проходят через начало  $O$  системы  $i_0 O i_1$ .

Ранг системы (8) при  $N=6$ ,  $i_0=0$ ,  $i_1=0$  возрастает до шести. Если выразить неизвестные  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $H$ ,  $x_B$ ,  $P_5$ ,  $P_6$  через  $y_B$  по любым шести уравнениям системы (9) и далее ввести эти линейные функции в уравнения (3), получим систему двух уравнений с одним неизвестным, которая в общем случае несовместна. При  $N>6$  кривые  $F_1$  и  $F_2$  вовсе не проходят через точку  $O$ .

Рассмотрим теперь тот частный случай задачи, когда начало подвижной системы  $x_0 y_0$  движется по дуге окружности, т. е.  $X_{0i}^2 + Y_{0i}^2 = R_{0i}^2 = \text{const}$ . Теперь легко видеть, что столбец свободных членов системы (9) получается умножением элементов третьего столбца матрицы коэффициентов на постоянную величину  $R_{0i}^2$ . В связи с этим свободные члены в уравнениях (8), так же, как и в выражениях определителей  $D_{X_A}$ ,  $D_{Y_A}$ ,  $D_H$ ,  $D_{x_B}$ ,  $D_{y_B}$ ,  $D_{P_5}$ ,  $D_{P_6}$ , обращаются в нуль. Так как при  $i_0=0$  и  $i_1=0$   $D \neq 0$ , то из формул (9) находим, что  $X_A=0$ ,  $Y_A=0$ ,  $x_B=0$ ,  $y_B=0$ ,  $P_5=0$ ,  $P_6=0$  и  $H=0$ . Это означает, что начало подвижной системы координат является круговой точкой, а начало  $XOY$  — центром окружности (тривиальный результат).

Разобранный выше случай очень часто встречается при решении задач синтеза механизмов, в частности, при синтезе передаточного четырехзвенника.

Երևան, К. Маркса

ՅՈՒ. Լ. ՍԱՐԿԻՅԱՆ

ՀԱՐՔ ԼՈՒԱՅԻՆ ԳԵՆԱԼԻԶԱՆԵՐԻ ՔԱՌԱԿՈՒՍԱՅԻՆ ԽՈՏԱՐԿՈՒՄԱՆ  
ՄԵԹՈԴՈՎ ՍԻՆԹԵԶԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԵՐՅԱԼ

Ս. Ս Ր Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում ներկայացված է հարթ պատկերի ամենափոքր քառակուսիների  
խմբատով շրջանագծին մոտեցող կետերի որոշման խնդրի նոր լուծում: Փոխա-

դարձ կտայ է հաստատված լծակալին մեխանիզմների հանրահաշվական սինթեզի հայտնի տեսության և հեղինակի նախկին աշխատանքներում դարձրաշվոզը բնդհանրացված կինեմատիկական երկրաչափության միջև:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Артоболевский И. И., Левитский И. И., Черкудинов С. А. Снители плоских механизмов. Физматгиз, М., 1958.
2. Саркисян Ю. Л., Гуага К., Росс В. Кинематическая геометрия в связи с квадратичным приближением заданного движения. «Конструирование и технология машиностроения», № 2, 1973, изд-во «Мир».

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Ս. Բ. ՕԼԵՆՈՒԿ, Մ. Դ. ՏԱԿՅԱՆ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА УПРОЧНЕНИЯ  
 ТЕРМООБРАБОТАННЫХ СТАЛЕЙ

Ранее показано, что коэффициент упрочнения  $\beta_2$ , являющийся отношением пределов выносливости термообработанных и отожженных деталей машины, величина случайная, зависящая от числа циклов  $N$ , и вероятности неразрушения  $I(N)$ . В работе [1] рассмотрено изменение параметров функции  $\beta_2 = f_2[N; I(N)]$  в связи с формой, размерами, термообработкой и режимом нагружения образцов.

Для использования результатов исследования [1] в инженерных расчетах представляет интерес количественная оценка коэффициента  $\beta_2$  от действия указанных факторов и установление функциональной связи между  $\beta_2$  и твердостью HRC.

В статье рассматриваются циклические испытания (чистый изгиб с вращением) образцов из стали 45 и 40X — гладкие (Гл) и с концентраторами напряжений (К),  $d=10$  и 25 мм,  $\alpha_2=2,54$  и 1,85 — подвергнутых отжигу (0), нормализации (Н), улучшению (У) и закалке (З). Режимы нагружения — стационарный и программный с варьированием амплитуды изгибных напряжений между двумя уровнями [2,3].

Функция коэффициента упрочнения  $\beta_2 = f_2[N; I(N)]$  в большинстве случаев имеет возрастающе-убывающий характер с максимумом при  $N_1=N_0$  и стабильным значением  $\beta_2$  при  $N_1 > N_0$  в области длительной выносливости ( $N_0, \bar{N}_0$  — абсциссы точек перегиба кривых выносливости термообработанных и отожженных образцов). Рассмотрим изменение  $\beta_2$  для характерных значений долговечностей  $N_1=10^5, N_0$  и  $\bar{N}_0$ . На рис. 1, 2 и 3 представлены средневероятные значения  $\beta_2$  и области их рассеяния с 10 и 99,9%-ными доверительными границами, подсчитанные согласно [1] при стационарном и программном нагружениях.

Для рассмотренных случаев  $N_1$  с увеличением диаметра образцов и при наличии надрезов вероятные значения  $\beta_2$  падают и это заметно при высоких твердостях HRC.

Относительно изменение  $\beta_2$  в зависимости от долговечности представим в виде

$$\frac{\partial \beta_2}{\partial N_1} = \frac{\partial \beta_2}{\partial N_0} = \frac{\partial \beta_2}{\partial \bar{N}_0} = \frac{\partial \beta_2}{\partial HRC} \quad (1)$$

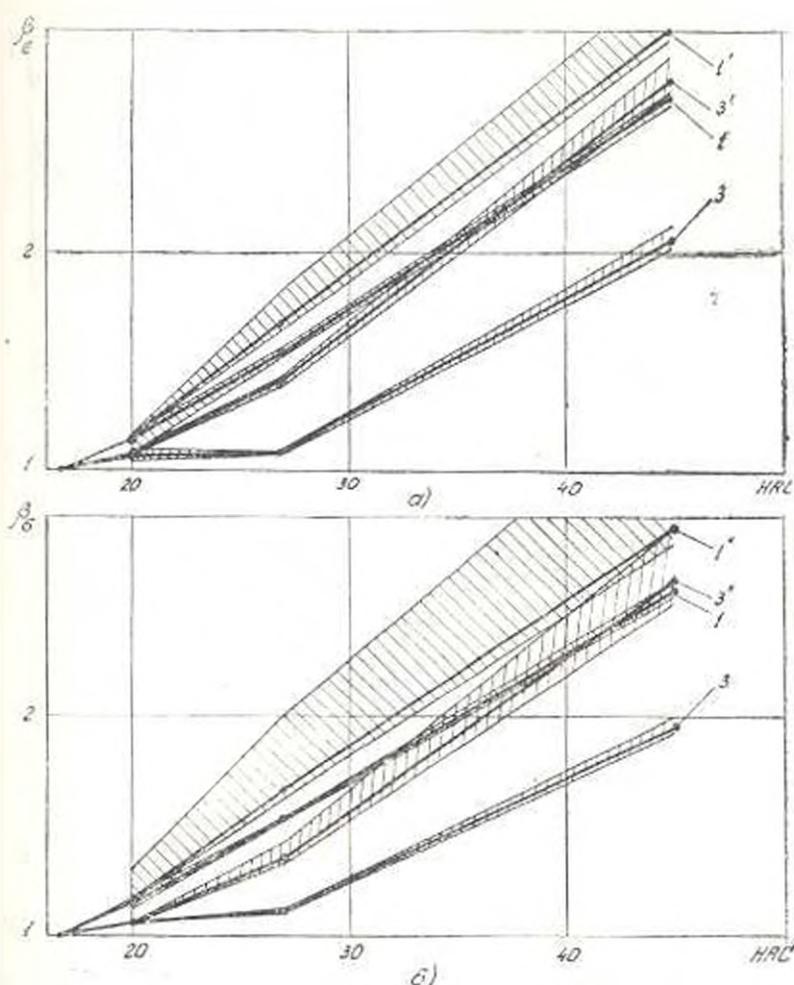


Рис. 1. Изменение  $\sigma_e$  в зависимости от HRC при  $N_0 = 10^9$ ,  $N_1 = (1.2-3.2) \cdot 10^6$  и  $d = 10$  мм.

а) стационарное нагружение; б) программное нагружение.

(Линии 1 и 3 относятся образцам  $\sigma_{10}$  Гл и  $\sigma_{10}$  К при  $N_1 = 10^9$ , а 1' и 3' при  $N_1 = 10^6$ )

где  $\sigma_{-1, N_1}(\sigma_{-1, N_0})$ ,  $\sigma_{-1, N_1}(\sigma_{-1, N_0})$  — пределы выносливости термообработанных (отожженных) образцов при  $N_0$  и  $N_1$ .

В связи с изменениями пределов выносливости в интервале  $10^9 \leq N_1 \leq N_0$  справедливы неравенства

$$\frac{\sigma_{-1, N_1}}{\sigma_{-1, N_0}} > 1 \quad \text{и} \quad \frac{\sigma_{-1, N_0}}{\sigma_{-1, N_1}} < 1.$$

При  $N_1 = 10^9$  отклонения множителей выражения (1) взаимно компенсируют и, поэтому, наблюдается инвариантность  $\sigma_{e, HRC}$  к размерам, форме и термообработке образцов ( $\sigma_{e, HRC} = 0,97-1,03$ ). В зоне  $N_1 =$

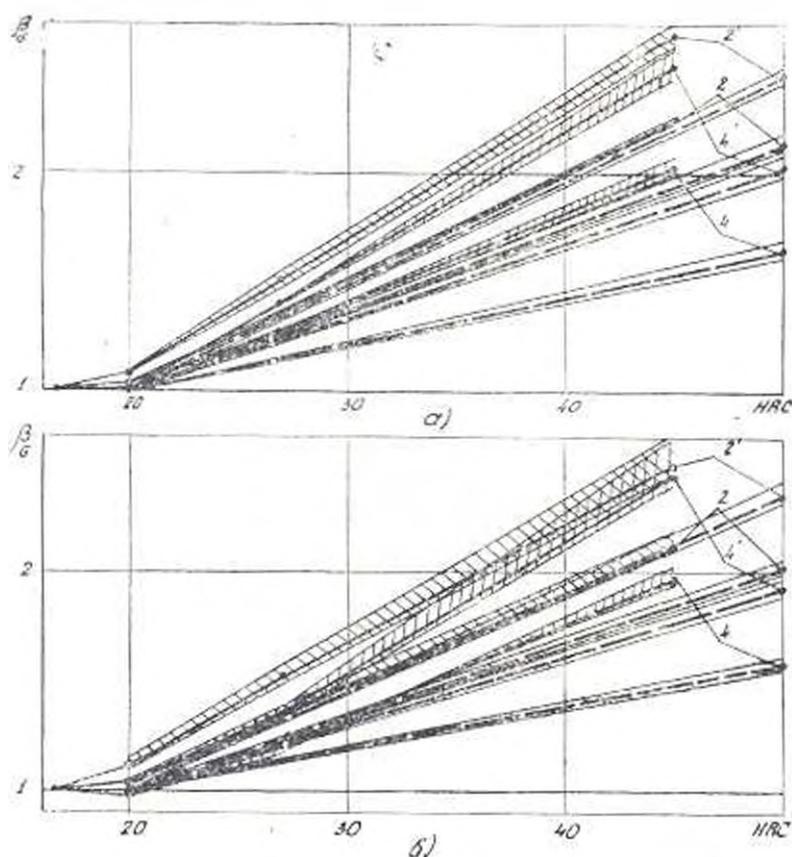


Рис. 2. Уменьшение  $\beta$ , в зависимости от HRC при  $N_f = 10^5$ ,  $N_0 = (1,2 \div 3,2) \cdot 10^4$  и  $d = 25$  мм:

а) стационарное нагружение; б) программное нагружение. (Линии 2 и 4 относятся образцам 25 Гл и 25 К при  $N_f = 10^5$ , а 2' и 4' — при  $N_0$ . Пунктирные линии соответствуют образцам из стали 40X)

$= N_0 = (1,2 \div 3,2) \cdot 10^4$  второй множитель (1) приравнивается к единице и  $\beta_{s,d}$  достигают максимума; их средневероятные значения в интервале HRC = 17 ÷ 50 для гладких и надрезанных образцов равны  $\bar{\beta}_{s,d} = 1 \div 1,17$  и  $1 \div 1,24$ . Если учесть, что в справочной литературе значения  $\beta_s$  соответствуют длительным пределам выносливости, то для деталей, термообработанных до HRC = 45 ÷ 50 и имеющих ограниченный срок службы, указанное повышение  $\beta$  должно быть учтено в расчетах на прочность.

Для оценки масштабного эффекта можно записать

$$\frac{\delta \beta_{s,d}}{\beta_{s,d}} = \frac{\beta_{s,d}}{\beta_{s,d}} = \frac{\sigma_{-1,d}}{\sigma_{-1,d_0}} \cdot \frac{\sigma_{-1,d_0}}{\sigma_{-1,d}} = \epsilon_s \cdot \delta \sigma_{-1,d} \quad (2)$$

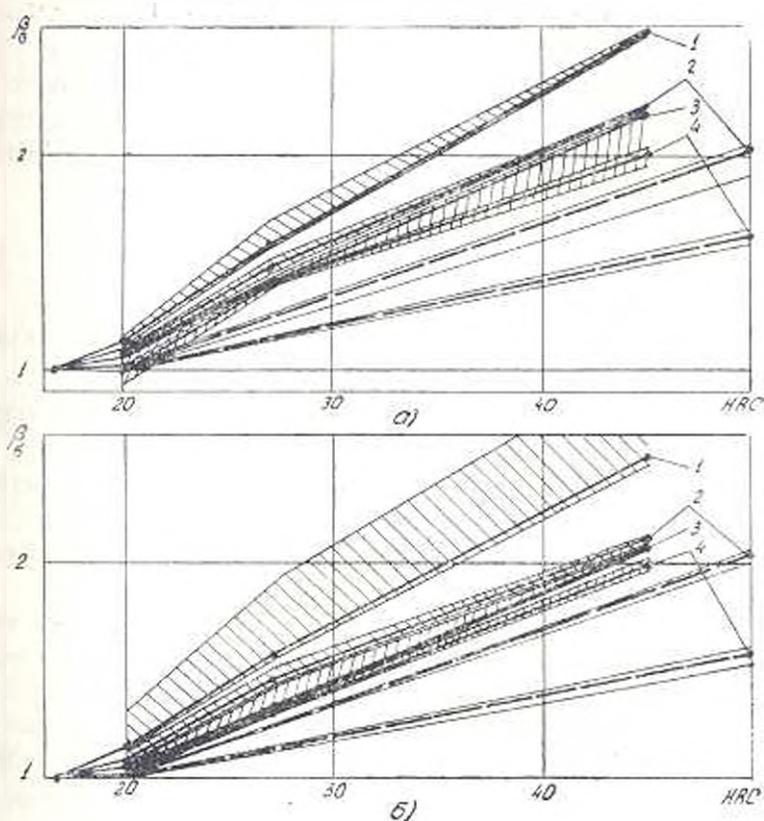


Рис. 3. Изменение  $\beta_0$  в зависимости от HRC при  $Nt > N_0$ :  
 а) стационарное нагружение; б) программное нагружение  
 (условные обозначения те же, что и на рис. 1 и 2)

где  $\sigma_{-1,d}$  ( $\sigma_{-1,d}$ ),  $\sigma_{-1,d}$  ( $\sigma_{-1,d}$ ) — аналогичные пределы выносливости при данном  $d$  и  $d_0 = 10$  мм.

Здесь  $\epsilon_s < 1$  и  $\delta\sigma'_{-1,d} \geq 1$ , но интенсивность изменения первого множителя выше, поэтому в интервалах  $d = 10 \div 25$  мм и HRC = 17 ÷ 50 снижение  $\beta_{s,d}$  для гладких и надрезанных образцов составляет  $\beta_{s,d} = 1 \div 0,85$  и  $1 \div 0,95$ . Можно считать, что термообработка способствует проявлению масштабного эффекта, но наличие надрезов несколько сглаживает этот процесс.

Влияние термообработки на  $\beta_s$  значительно при действии концентрации напряжений. Если записать

$$\beta_{s,k} = \frac{\beta_s}{\beta_{s,k}} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1,k}} \cdot \frac{\sigma_{-1,k}}{\sigma_{-1}} = K_s \cdot \delta\sigma'_{-1,k}, \quad (3)$$

то  $K_s > 1$  и  $\delta\sigma'_{-1,k} < 1$ ; второй множитель ближе к единице, чем первый, и с усилением концентрации напряжений эта разница увеличивается, поэтому в интервале HRC = 17 ÷ 50 при  $\alpha_s = 2,54$  значения

$\beta_{2,2}$  равны  $\beta_{2,2} = 1 \div 1,23$ , при  $\sigma_2 = 1,85$   $\beta_{2,2} = 1 \div 1,08$ , а для образцов из стали 40X  $\beta_{2,2} = 1 \div 1,28$ .

Принятый режим нагружения не оказывает существенного влияния на величину  $\beta_2$ . При равных условиях испытаний, отличающихся действием программного нагружения, лишь при  $HRC = 45 \div 50$  наблюдается незначительное снижение  $\beta_2$ . Если записать

$$\delta\beta_{2,n} = \frac{\beta_{2,n}}{\beta_2} = \frac{\sigma_{-1,n}}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1,n}} \quad (4)$$

то  $\frac{\sigma_{-1,n}}{\sigma_{-1}} > 1$  и  $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1,n}} \leq 1$ . На величину  $\delta\beta_{2,n}$  преобладающее влияние

оказывает второй множитель, поэтому для всех видов образцов  $\delta\beta_{2,n} = 1 \div 0,96$ .

Вариация материала не привело к существенному изменению характера  $\beta_2$ . Лишь при наличии концентрации напряжений для образцов из стали 40X, чувствительной к надрезу, снижение  $\beta_2$  оказалось наибольшим.

Закономерности рассеяния характеристик выносливости термообработанных образцов справедливы и для коэффициента упрочнения. Программное нагружение способствует рассеянию вероятных значений  $\beta_2$ , а с увеличением размера и при наличии надрезов разброс  $\beta_2$  уменьшается. Дисперсия  $S^2_{\beta_2}$  от твердости  $HRC$  переменна, и значения ее максимальны для закаленных образцов. Учет дисперсии  $S^2_{\beta_2}$  представляет интерес при расчетах на прочность гладких валков, работающих в условиях нестационарного нагружения, так как отклонение вероятных значений  $\beta_2$  относительно их средних при  $t(N) = 10 \div 99\%$  составляет  $0,97 \div 1,22$ .

Независимо от действия того или иного фактора, при переходе к неравновесным структурным состояниям значения  $\beta_2$  пропорционально растут. Это позволяет связь  $\beta_2 = f_2(HRC)$  в рассмотренном интервале твердостей выразить корреляционными уравнениями первого порядка

$$y_i = \bar{y} + r \frac{S_y}{S_x} (x_i - \bar{x}) \quad (5)$$

или  $y_i = ax_i + b$ , где  $y_i = \beta_2$ ,  $x_i = HRC$ . (5a)

Вычисленные на ЭВМ параметры уравнения (5a) представлены в табл. 1, откуда видно, что теснота корреляционной связи достаточно высока, и подтверждается наличие прямолинейной зависимости между  $\beta_2$  и  $HRC$ . Отклонения расчетных значений  $\beta_2$ , рассчитанных согласно (5), от экспериментальных не превышают 2–4% и лишь для надрезанных образцов при программном нагружении иногда достигают 6–10%.

Таблица 1

№	Программы	Стационарный	Констр.	Материал	Термообр.	$I(N) = 10\%$			$I(N) = 50\%$			$I(N) = 99,9\%$		
						a	b	r	a	b	r	a	b	r
$N = 10^5$														
1	10Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0695	-0,0384	0,9993	0,0607	0,0470	0,9990	0,0601	-0,0571	0,9980		
2	25Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0454	-0,1745	0,9948	0,0442	0,2025	0,9857	0,0473	-0,1383	0,9947		
3	10К	Ст.40X	0,З	0,0372	-0,2500	—	0,038	0,2402	—	0,0392	0,2167	—		
4	25К	Ст.45	0,Н,У,З	0,0368	-0,2951	0,9650	0,0377	0,2822	0,9629	0,0391	-0,2544	0,9537		
5	10К	Ст.40X	0,З	0,0301	-0,3106	0,9454	0,0375	0,3159	0,9944	0,0400	-0,2470	0,9901		
6	25К	Ст.40X	0,З	0,0210	-0,5807	—	0,0217	0,5867	—	0,0232	0,5353	—		
7	10Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0548	-0,0827	0,9999	0,0550	0,0713	0,9995	0,0578	-0,0142	0,9996		
8	25Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0406	-0,2064	0,9958	0,0414	0,2559	0,9963	0,0436	-0,2287	0,9975		
9	10К	Ст.40X	0,З	0,0335	-0,3500	—	0,0339	0,3214	—	0,0348	0,3034	—		
10	25К	Ст.45	0,Н,У,З	0,0334	-0,3768	0,9715	0,0340	0,3521	0,9699	0,0361	-0,3099	0,9659		
11	10К	Ст.40X	0,З	0,0354	-0,3338	0,9901	0,0362	0,3128	0,9822	0,0378	-0,2430	0,9802		
12	25К	Ст.40X	0,З	0,0189	-0,6213	—	0,0191	0,6173	—	0,0195	0,6107	—		
$N_0 = (1,2+3,2) \cdot 10^5$														
13	10Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0699	-0,2015	0,9992	0,0717	0,2427	0,9989	0,0611	-0,382	0,9980		
14	25Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0578	-0,0241	0,9973	0,0590	0,0464	0,9974	0,0613	-0,0865	0,9974		
15	10К	Ст.40X	0,З	0,0469	-0,0614	—	0,0481	0,0387	—	0,0493	0,0134	—		
16	25К	Ст.45	0,Н,У,З	0,0620	-0,1375	0,9909	0,0646	-0,1878	0,9938	0,0681	-0,2419	0,9903		
17	10К	Ст.40X	0,З	0,0531	-0,0326	0,9918	0,0549	0,0052	0,9941	0,0583	-0,0920	0,9909		
18	25К	Ст.40X	0,З	0,0334	-0,3314	—	0,0348	0,3047	—	0,0374	0,2527	—		
19	10Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0631	-0,0657	0,9998	0,0660	0,1218	0,9995	0,0382	-0,4284	0,9987		
20	25Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0520	-0,0960	0,9967	0,0537	0,0731	0,9990	0,0591	-0,0123	0,9996		
21	10К	Ст.40X	0,З	0,0437	-0,1254	—	0,0447	0,1051	—	0,0470	0,0300	—		
22	25К	Ст.45	0,Н,У,З	0,0553	-0,0154	0,9900	0,0583	-0,0712	0,9900	0,0677	-0,2526	0,9907		
23	10К	Ст.40X	0,З	0,0510	-0,0647	0,9935	0,0531	0,0182	0,9920	0,0597	-0,1254	0,9864		
24	25К	Ст.40X	0,З	0,0301	-0,3973	—	0,0309	0,3813	—	0,632	0,3473	—		
$N > \bar{N}_0$														
25	10Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0563	-0,0418	0,9992	0,0559	0,0493	0,9987	0,0561	-0,0916	0,9934		
26	25Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0443	-0,2467	0,9985	0,0439	0,2583	0,9975	0,0403	-0,3368	0,9899		
27	10К	Ст.40X	0,З	0,0349	-0,3014	—	0,0345	0,3107	—	0,0301	0,3973	—		
28	25К	Ст.45	0,Н,У,З	0,0430	-0,2503	0,9786	0,0429	0,2531	0,9983	0,0385	-0,3098	0,9840		
29	10К	Ст.40X	0,З	0,0375	-0,3457	0,9920	0,0376	0,3367	0,9903	0,0370	-0,3398	0,9793		
30	25К	Ст.40X	0,З	0,0210	-0,5807	—	0,0208	0,5833	—	0,0186	0,5833	—		
31	10Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0519	-0,1301	0,9995	0,0532	0,1120	0,9992	0,0681	-0,0534	0,9947		
32	25Г2	Ст.45	0,Н,У,З	0,0399	-0,3254	0,9965	0,0401	0,3381	0,9961	0,0399	-0,3559	0,9938		
33	10К	Ст.40X	0,З	0,0347	-0,3060	—	0,0347	0,3060	—	0,0336	0,3274	—		
34	25К	Ст.45	0,Н,У,З	0,0389	-0,3182	0,9982	0,0395	0,3067	0,9981	0,0400	-0,2919	0,9908		
35	10К	Ст.40X	0,З	0,0361	-0,3684	0,9959	0,0367	0,3530	0,9961	0,0378	-0,3192	0,9958		
36	25К	Ст.40X	0,З	0,0190	-0,6080	—	0,0193	0,6149	—	0,0173	0,6540	—		

Параметр  $a$ , характеризующий интенсивность изменения  $\beta$ , достигает максимума при  $N_i = \bar{N}_0$ , и его средневероятные значения для гладких и надрезанных образцов составляют:  $a = 0,046$  и  $0,069$  и  $0,033$

— 0,066. Меньшие интервальные значения  $a$  соответствуют образцам большего диаметра, с низкой концентрацией напряжения и изготовленным из стали 40X. В области длительной выносливости, представляющей наибольший интерес, аналогичные значения  $a$  составляют:  $\bar{a} = 0,035 \pm 0,055$  и  $0,020 \pm 0,041$ .

Параметр  $b$  является начальной ординатой линии (5а). Для каждого материала семейство уравнений (5а) имеет общую точку с координатами  $(HRC_0; 1)$ , где  $HRC_0$  — твердость отожженных образцов, в связи с чем минимальные значения параметра  $b$  соответствуют максимальным  $a$  и наоборот. При  $N_i > N_0$  средневероятные интервальные значения  $b$  для гладких и надрезанных образцов составляют:  $\bar{b} = 0,081 \pm 0,308$  и  $0,280 \pm 0,599$ .

Учитывая переменность дисперсии  $S_{\sigma_i}^2$  и прохождение функции  $\sigma_i = f_2(HRC)$  через точку  $(HRC_0; 1)$ , можно подтвердить, что с увеличением  $I(N)$  вероятные значения параметра  $a$ , в тенденции, растут, а параметра  $b$  — падают.

Определение параметров уравнения (5а) для вероятностей разрушения  $I(N) = 10 \div 99,9\%$  и наличие их средневероятных интервальных значений позволяет при конструкторских разработках деталей машин назначить вид термической обработки, обеспечивающий прогнозируемые значения коэффициента упрочнения, или по минимальному объему испытаний лабораторных отожженных образцов для интервала твердостей  $HRC = 17 \div 50$ , чаще встречающегося в машиностроении, определить значения  $\xi_2$ . Приведенные в работе данные могут быть использованы и для других среднеуглеродистых конструкционных сталей, близких по химическому составу и механическим свойствам сталям 45 и 40X.

Поступило 29.III.1976

Ն. Վ. ՕԼԵՆԻԿ, Մ. Գ. ՍՏԱԽԱՆ

ԶԵՐՈՒՄՇԱԿՎԱԾ ՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ԱՄՐԱՑՄԱՆ ԷՖԵԿՏԻ ԳՆԱՀԱՍՈՒՄԸ

Ա ճ փ ո փ ու լ ճ

Կատարված է փոփոխական ծոման տակ փորձարկված պողպատե ջերմամշակված փորձանմուշների ամրացման էֆեկտի քանակական գնահատումը և նորմալացման, լավացման ու մխման դեպքերի համար որոշված են ամրացման  $\xi_2$  գործակցի հավանական արժեքները:

Դասմանափակ և երկարաձողված պիմացկունության մարդերում դիտված են  $\xi_2$ -ի փոփոխման առանձնահատկությունները: Ուսումնասիրված է բեռնվածություն ունեցող, փորձանմուշների նյութի, չափերի և ձևերի ազդեցությունը  $\xi_2$ -ի վրա:

Յույց է արված, որ  $\beta_2 = f$  (HRC) կախումը ուղղագծային է և  $\beta_1$ -ի ու HRC-ի միջև գոյություն ունի բավական բարձր կոռելյացիոն կապ: Արոշված են  $\beta_2 = f$  (HRC) կոռելյացիոն հավասարումների պարամետրները, որոնք թույլ են տալիս թողարկված փորձանմուշների փորձարկման նվազագույն ծախսով հաշվարկել  $\beta_2$ -ի արժեքները:

ЛИТЕРАТУРА

1. Олейник Н. В., Безер В. В., Стакия М. Г. Исследование эффекта упрочнения термообработанных сталей. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 2, 1976.
2. Олейник Н. В., Безер В. В. Вязкоэластичность термически обработанных сталей Сб. «Детали машин и подъемно-транспортные машины», вып. 9, изд. «Техника», Киев, 1969.
3. Олейник Н. В., Безер В. В. Сопротивление термически обработанных сталей перегрузкам Сб. «Детали машин и подъемно-транспортные машины», вып. 9, изд. «Техника», Киев, 1969.



МАШИНОСТРОЕНИЕ

К. Г. СТЕПАНИАН, Ф. С. ЗАВЯН

К СИНТЕЗУ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ  
 МЕХАНИЗМОВ

В современном этапе развития теории машин-автоматов большую важность приобретают задачи синтеза самонастраивающихся механических систем. В основе таких систем, в частности, лежат механизмы, в которых при изменении некоторых параметров кинематической схемы выходное звено движется по разным законам. Однако, несмотря на важность указанных задач, вопросы синтеза таких механизмов рассмотрены недостаточно.

В настоящей статье предлагается метод синтеза регулируемых механизмов с изменяющимися законами движения выходного звена. Показано, что синтез таких механизмов можно привести к синтезу механизмов с двумя степенями свободы. Такой переход основан на следующих рассуждениях.

Двухподвижный передаточный механизм воспроизводит функцию двух переменных

$$z = z(x, y), \quad (1)$$

где перемещения входных звеньев пропорциональны аргументам  $x$  и  $y$ , а перемещение выходного звена — функции  $z$ . Если превратить двухподвижный механизм в одноподвижный путем фиксирования в определенных положениях одного из входных звеньев, то он будет воспроизводить разные линии уровня поверхности (1), уравнения которых напишем в виде

$$z = z(x, y_l), \quad (l = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

где  $y_l$  — фиксированное значение координаты, определяющее положение управляющего входного звена в  $l$ -ом положении.

Поскольку двухподвижные передаточные механизмы воспроизводят семейство одномерных функций (2), то его можно использовать в качестве механизма, реализующего заданную совокупность законов движения, соответствующих линиям уровня одной и той же поверхности.

Когда требуется проектировать регулируемый механизм по произвольной системе законов движения (функций)

$$z_l = z_l(x), \quad (l = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

то поступаем следующим образом.

Через кривые  $z_i$  системы (3) проведем поверхность. С этой целью используется интерполяционный многочлен Лагранжа, который в данном случае принимает вид

$$z = \sum_{i=1}^n L_i^n(y) z_i(x), \quad (4)$$

где

$$L_i^n(y) = \frac{(y-y_1)(y-y_2) \dots (y-y_{i-1})(y-y_{i+1}) \dots (y-y_n)}{(y_i-y_1)(y_i-y_2) \dots (y_i-y_{i-1})(y_i-y_{i+1}) \dots (y_i-y_n)}; \quad (5)$$

$y_1, y_2, \dots, y_n$  — заданные значения аргумента  $y$ .

Выражение (4) является функцией двух переменных, а линии уровня этой поверхности при  $y = y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) являются функциями  $z_i(x)$  системы (3), т. е.

$$L_i^n(y_j) = \begin{cases} 1 & \text{при } i = j, \\ 0 & \text{при } i \neq j. \end{cases} \quad (6)$$

Проектируем механизм, воспроизводящий функцию (4). Далее, последовательно фиксируя управляющее входное звено в точках  $y_i$ , получаем механизм, воспроизводящий линии уровня поверхности (4), представляющие собой заданные функции (3).

Проектирование механизмов с двумя степенями свободы можно произвести с помощью любого существующего метода. Формулу (4) можно удачно использовать в синтезе механизмов с двумя степенями свободы по методу, предложенному в [3]. Согласно этому методу можно создать механизмы с одной степенью свободы, воспроизводящие в отдельности функции одной переменной  $L_i^n(y)$  и  $z_i = z_i(x)$ , и далее полученные механизмы соединить с помощью суммирующих и умножающих механизмов.

**Пример.** Спроектируем регулируемый пространственный пятизвенный механизм (рис. 1), предложенный в [2], для воспроизведения двух заданных функций:

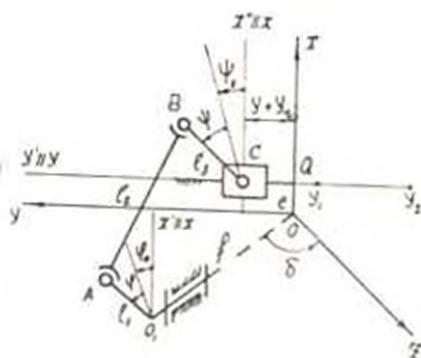


Рис. 1.

$$\begin{aligned}\psi_1 &= a_1 + b_1 \cos(c_1 \varphi + d_1); \\ \psi_2 &= a_2 + b_2 \cos(c_2 \varphi + d_2),\end{aligned}\quad (7)$$

где

$$\begin{aligned}a_1 &= -0,2683; & b_1 &= -0,6158; & c_1 &= 1,0061; & d_1 &= 1,0216; \\ a_2 &= -0,1694; & b_2 &= -0,5559; & c_2 &= 1,0544; & d_2 &= 1,0154.\end{aligned}$$

По формуле (4) строим функцию  $\psi$  в виде

$$\psi = \frac{y-y_2}{y_1-y_2} \psi_1 + \frac{y-y_1}{y_2-y_1} \psi_2, \quad (8)$$

где принимаем  $y_1 = -2$ ;  $y_2 = -2,4$ .

Параметры пространственного пятизвенного механизма определяются из условия воспроизведения механизмом функции (8). С этой целью используем метод Н. Н. Мевитского [1].

При  $e = 1$ ,  $l_3 = 4$ ,  $\varphi_0 = 0$  и  $\psi_0 = 0$  для определения остальных пяти параметров механизма выражение взвешенной разности приводим к виду

$$\Delta_q = 2[\rho_0 f_0(\varphi, y) + \dots + \rho_4 f_4(\varphi, y) - F(\varphi, y)], \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned}f_0(\varphi, y) &= y + 4 \sin \psi; & f_1(\varphi, y) &= \cos \varphi (1 + 4 \cos \psi); \\ f_2(\varphi, y) &= \sin \varphi (y + 4 \sin \psi); & f_3(\varphi, y) &= \sin \varphi; & f_4(\varphi, y) &= 1; \\ F(\varphi, y) &= -0,5[y^2 + 1 - 8(\cos \psi + y \sin \psi)];\end{aligned}\quad (10)$$

$$\begin{aligned}\rho_0 &= y_0 - f \sin \psi; & \rho_1 &= -l_1; & \rho_2 &= -l_2 \cos \psi; & \rho_3 &= -l_3 y_0 \cos \psi; \\ \rho_4 &= 0,5(l_1^2 + 16 + f^2 + y_0^2 - l_2^2 - 2y_0 f \sin \psi).\end{aligned}$$

При решении задачи методом квадратического приближения параметры  $\rho_i$  определяются из условия минимума двойной суммы

$$I = \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^2 (\Delta_{qj})^2,$$

что в итоге приводит к решению системы линейных алгебраических уравнений. В матричной форме эта система записывается так

$$A \cdot P = B, \quad (11)$$

где

$$A = \| a_{ij} \|; \quad P = \begin{bmatrix} \rho_0 \\ \vdots \\ \rho_4 \end{bmatrix};$$

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^4 \sum_{h=1}^4 f_i(\varphi_k, y_h) f_j(\varphi_k, y_h);$$

$$b_i = \sum_{k=1}^4 \sum_{h=1}^4 f_i(\varphi_k, y_h) F(\varphi_k, y_h);$$

$$(i, j = 0, 1, 2, 3, 4)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Определив по формулам (12)  $a_{ij}$  и  $b_i$  и решив систему (11), получим:

$$p_0 = -1,02360; \quad p_1 = -1,98642; \quad p_2 = -1,70148;$$

$$p_3 = 0,15868; \quad p_4 = -6,16002.$$

По формулам (10) определяем параметры механизма:

$$L_1 = 1,98642; \quad L_2 = 5,97584; \quad f = 1,80806;$$

$$y_0 = -0,08973; \quad \alpha = 31^{\circ}5'.$$

Если фиксировать регулирующее звено (ползунок C) в точке  $y_1 = -2$ , механизм будет воспроизводить функцию  $\psi_1$ , а в точке  $y_2 = -2,4$  — функцию  $\psi_2$ .

Для определения максимального отклонения от заданных функций по формуле (9) подсчитываем значения взвешенной разности  $\Delta_{\varphi}$  во всех выбранных точках (табл. 1).

Таблица 1

$y_h$	$\varphi_k = 0^{\circ}$	$\varphi_k = 20^{\circ}$	$\varphi_k = 40^{\circ}$	$\varphi_k = 60^{\circ}$
-2	-0,0006	-0,0019	-0,0009	+0,0033
-2,4	-0,0003	-0,0003	-0,0014	+0,0026

ЕрПИ им. К. Маркса

Получено 23.11.1976.

Կ. Գ. ՈՏԵՓԱՆՅԱՆ, Յ. Ս. ԶՈՋՅԱՆ

ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՎ ՓՈՒՆԱՆՑԻՉ ՄԵՆԱՆԵՑՄԱՆԵՐԻ ՍԵՆՔԵՅԻ ՎԵՐԱՐԵՐՅԱԼ

Հողի անում առաջարկվում է կարգավորող փոխանցիչ մեխանիզմների նախագծման մի մեթոդ, մեխանիզմներ, որոնք կարգավորող օղակի անդամի մասն ժամանակ վերարտադրում են աված  $Z_i(x)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) ֆունկցիաները: Ցույց է արվում, որ նշված մեխանիզմների նախագծումը բերվում է կրկու աղատության աստիճանով մեխանիզմների նախագծման:

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Левитский Н. И.* Приближенный синтез шарнирных механизмов с двумя степенями свободы. «Труды института машиноведения». Вып. 83—84. Изд-во АН СССР, М., 1961.
2. *Степанян К. Г.* Синтез пространственного пятизвеньевго механизма с двумя степенями свободы. «Машиноведение», № 1, 1973.
3. *Нийке Е. У., Сильверберг Т. Р.* Проектирование механизмов для осуществления функций нескольких переменных. «Прикладная механика и машиностроение», сборн., т. 2, вып. 28. Изд-во иностр. лит., 1953.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Г. В. СААКЯН

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕРАВНОМЕРНОСТИ  
 ДВИЖЕНИЯ УЗЛА ПОДАЧИ СТАНКА

Плавность движения узлов подачи станков наиболее полно рассмотрена в работах [1; 2], векривающих механизм возникновения неустойчивости перемещения и отклонений от равномерной скорости в зависимости от особенности конструкции, характеристик упругой системы и процесса трения.

Внимание к проблеме обусловлено значимостью неравномерности подачи в функционировании любого станка. Достаточно, например, иметь амплитуду  $V_i = 0,1 \div 1$  м/сек одной из переменных составляющих скорости на частоте  $f_i = 1 \div 10$  Гц, чтобы при фрезеровании с подачей  $S = 1$  м/мин под углом  $\alpha$  к направлению движения на детали возникла волна с амплитудой и шагом соответственно:

$$\frac{V_i \sin \alpha}{2\pi f_i} = 0,001 \div 0,1 \text{ м.к.} \quad \frac{10^3 \cdot S}{60f_i} = 1,5 \div 15 \text{ м.к.}$$

Кроме того, станки одной модели имеют, как правило, существенный разброс показателей плавности перемещения от образца к образцу. Так, проведенные нами измерения суммарной виброскорости перемещения стола при  $S = 1,5$  м/мин семи вертикальных фрезерных станков с крестовым столом шириной 400 мм показали, что она различна в пределах  $0,5 \div 1,7$  м/сек. Это свидетельствует о технологических отклонениях в изготовлении и сборке узла, приводящих в дальнейшем к погрешностям обработки, износу деталей узла, потере геометрической точности станка, шуму, перегревам и т. д. Отсюда, виброскорость узла подачи может быть критерием его качества, и здесь возможен единый подход к нормированию, контролю и снижению виброскорости холостого хода различных узлов станка в целях стабилизации качества.

Адекватным аппаратом такой вибродиагностики дефектов является спектральный анализ. Спектральный подход достаточно широко применяется при анализе вибраций машин, возникающих в диапазоне частот от  $10 \div 20$  Гц до  $1 \div 10$  кГц, но его применение к сигналу скорости поступательно движущегося ползуна станка нам обнаружить не удалось, что, по-видимому, объясняется рядом особенностей и связанных с ними трудностей. Рассмотрим это подробнее.

Спектр виброскорости ползуна смещается в низкочастотную область: частоты вращения в паре «ходовой винт-гайка» исключаются

десятыми долями и единицами герц; частоты вращения шаров в подшипниках и пересоприжения зубьев в зубчатых парах последних приводных звеньев ползуна составляют единицы и десятки герц; частоты того же порядка наблюдаются и при релаксационных колебаниях ползунов [2]. Отсюда, диапазон 2—300 Гц, по крайней мере, необходим для охвата спектра большинства причин, порождающих неравномерность.

Спектроанализирующая аппаратура выпускается, как правило, на диапазон частот, начинающийся не ниже 10 ÷ 20 Гц, что не удовлетворяет поставленной задаче. Для идентификации отдельных спектральных составляющих необходима высокая избирательность анализатора [3; 4]. Разделение двух равных спектральных линий при частотном интервале между линиями  $\Delta f$  возможно при добротности анализатора [5]

$$Q > 4 \frac{f_c}{\Delta f} \quad (2)$$

Требуемую добротность можно оценить, исходя из необходимости разделения центральных и боковых составляющих модулированного частотой вращения  $f_n$  сигнала встречи шаров с дефектом вращающегося кольца шарикоподшипника или пересоприжения зубьев колес, имеющих эксцентриситет начальной окружности [4]. В первом случае, полагая, что число шаров  $z = 10 \div 30$ , при  $f_c = 0,5 f_n$  имеем

$$Q > 4 \frac{(f_n - f_c) z}{f_c} \approx 20 \div 60, \quad (3)$$

а в случае зубчатого колеса с числом зубьев  $z = 15 \div 30$ —

$$Q > 4 \frac{f_n z}{f_c} = 60 \div 120, \quad (4)$$

Гетеродинные спектроанализаторы типа С4—12, С5—3 с постоянной полосой пропускания  $\Delta f = 6 \div 7$  Гц обеспечивают эквивалентную добротность, равную требуемой (20 ÷ 120), начиная лишь с частот

$$f = Q \cdot \Delta f = (20 \div 120) \cdot (6 \div 7) = 120 \div 840 \text{ Гц}. \quad (5)$$

Отсюда видно, что для низких частот в отношении избирательности преимущество дают фильтры с постоянной добротностью, а не с постоянной полосой пропускания. Итак, необходим анализатор с добротностью, по крайней мере, 50 и нижней частотой диапазона не выше 2 Гц. Промышленностью такие приборы не выпускаются.

Другой особенностью является противоречие между кратковременностью процесса установившегося движения узла подачи станка и длительностью времени анализа спектра. Продольный ход стола фрезерного станка при наибольшей подаче осуществляется всего за 36 сек. Время же переходного процесса резонансного фильтра с  $Q = 50$ , после его настройки на спектральную составляющую  $f_1 = 2$  Гц, составит:

$$T = 3 \frac{Q}{\omega f_1} = 24 \text{ сек.} \quad (6)$$

Для последовательного анализа с равномерной скоростью изменения частоты настройки фильтра даже в узком диапазоне  $F = 10 \text{ Гц}$  при  $f_{1 \text{ мин}} = 2 \text{ Гц}$  и  $Q = 50$ , допуская динамическую ошибку в амплитуде и разрешающей способности 25%, а в частоте составляющей — 1% (т. е.  $\mu = 0,5$ ), имеем время анализа [5]

$$T = \frac{2}{\pi} \frac{F Q^2}{f_1^2 \mu} = 27 \text{ мин.} \quad (7)$$

Измерение спектральной плотности мощности случайного процесса только в точке  $f_1 = 2 \text{ Гц}$  при  $Q = 10$  с нормированной среднеквадратической ошибкой  $\varepsilon = 0,3$  требует время [6]

$$T = \frac{Q}{f_1^2} = 37 \text{ сек.} \quad (8)$$

Таким образом, приходим к необходимости магнитной записи на замкнутую ленту. Длина кольца определяет статистическую точность воспроизведения спектра и сверху ограничена длительностью самого кратковременного процесса движения ползуна. При длине реализации  $T_p = 36 \text{ сек}$  разрешающая способность  $B_z$  воспроизведения спектра с нормированной среднеквадратической ошибкой  $\varepsilon = 0,3$  составит [6]

$$B_z = \frac{1}{T_p \varepsilon^2} = 0,3 \text{ Гц,} \quad (9)$$

что эквивалентно добротности

$$Q_{\text{экв}} = f_1 B_z. \quad (10)$$

Это значит, что начиная с  $15 \text{ Гц}$  и выше спектр воспроизводится подробнее, чем при измерении фильтром с  $Q = 50$ . На более низких частотах  $Q_{\text{экв}}$  снижается до 7 при  $f_1 = 2 \text{ Гц}$ , это — ограничение, но приемлемое, так как соотношения (3) и (4) получены для частот  $10 \text{ Гц}$ .

С учетом изложенных соображений была собрана установка для спектрального анализа движения узлов подачи, блок-схема которой

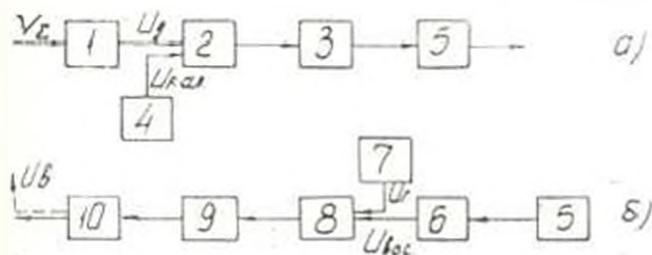


Рис. 1

приведена на рис. 1. Установка содержит два основных блока: измерения и запоминания (рис. 1,а), воспроизведения и анализа (рис. 1,б).

Сигнал виброскорости преобразуется датчиком 1, проходит через широкополосный усилитель 2 и модулятор 3, который модулирует сигнал на несущей частоте, и записывается магнитофоном 5. На вторую дорожку той же ленты записывается калибровочный сигнал  $U_{\text{кэл}}$  от генератора 4. При анализе воспроизведенный магнитофоном сигнал демодулируется детектором 6 и поступает на анализатор 8, к выходу которого через усилитель 9 подключен квадратичный вольтметр 10. Для калибровки цепи анализа используется генератор 7.

Индукционный сейсмический датчик виброскорости типа К001 имеет собственную частоту  $f_0 \approx 1 \text{ Гц}$  и чувствительность  $5-10 \text{ мВ.сек/мм}$  при сопряжении нагрузки  $R_n = 200 \text{ Ом}$  и обеспечивает постоянство частотной характеристики в исследуемом диапазоне частот ( $2-300 \text{ Гц}$ ) начиная с сигнала  $V = 0,01 \text{ мм/сек}$ .

Модулятор (рис. 2) собран по схеме, включающей входной делитель

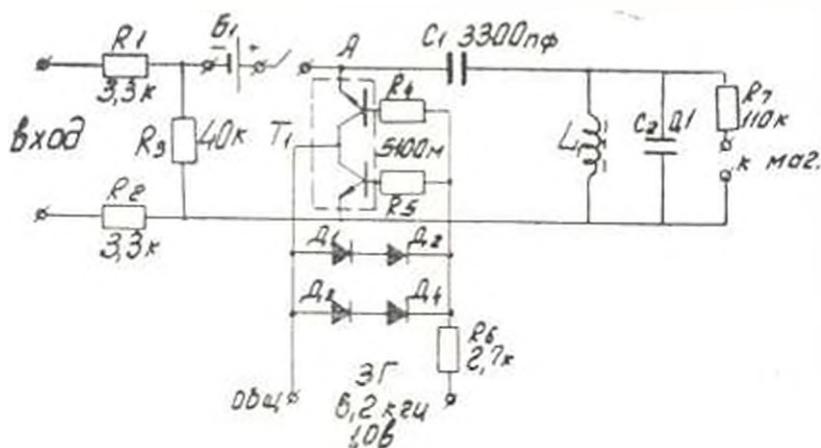


Рис. 2.

$R_1-R_2$ , ключ  $T_1$  управляемый от внешнего звукового генератора 3Г через ограничивающую цепь  $R_3$ ,  $L_1-C_2$  и выходной резонансный контур  $L_1, C_2$ , настроенный на частоту 6,2 кГц. Напряжение 4,5 В от внешнего источника  $B_1$ , введенного для обеспечения возможности модуляции переменным сигналом, суммируясь с напряжением входного делителя, прерывается ключом  $T_1$ . Прямоугольные импульсы с амплитудой, пропорциональной входному сигналу, преобразуются резонансным контуром в синусоидальные и через согласующую цепочку подаются на вход бытового магнитофона «Днепр». Максимальной (без искажений) сигнал глубине модуляции 0,8 соответствует входное (в модулятор) напряжение 5,8 В  $\mu\text{В}$ . Полагая, что амплитуды одновременно анализируемых спектральных составляющих могут отличаться на

порядок, можно оценить по предельно малому сигналу датчика требуемый максимальный коэффициент усиления усилителя. Он должен быть не ниже  $(8 \div 10) \cdot 10^4$ . Такую величину в диапазоне частот, начинающемся с 0,5 Гц, удалось обеспечить, используя в качестве усилителя 9 три последовательно соединенных усилительных каскада фазочувствительного вольтметра В5-2.

При воспроизведении сигнал снимается с гнезда магнитофона, предназначенного для подключения внешнего усилителя, и подается на демодулятор, представляющий собой однополупериодный выпрямитель с фильтром низкой частоты. В качестве анализатора спектра и установке используется разработанный Закавказским филиалом ЭИИМС [7] типовой измерительный блок балансировочного станка, содержащий резонансный фильтр с регулируемой в пределах 3 ÷ 50 добротностью, выполненный на диапазон частот 2 ÷ 500 Гц. В установке используется последний каскад милливольтметра переменного тока типа В3-5 (квадратический детектор, усилитель постоянного тока и показывающий прибор), пропускающий без завала сигнал с  $f_{\text{max}} = 2$  Гц. С добавлением емкости постоянная времени усреднителя увеличивается до значения, не меньшего  $(0,3 \div 0,5) T_p$ .

Для получения наибольшей точности анализа необходимо на выходе усилителя 2 обеспечивать максимальный сигнал, ограничиваемый, как указывалось, уровнем  $X_0 = 1,4 \cdot 5,8 = 8,1$  В, соответствующим допустимой глубине модуляции. Поскольку сигнал, как правило, представляет собой нормальный случайный процесс, то можно оценить его предельную среднеквадратическую величину  $\sigma_{\text{н}}$ , исходя из известной [8] зависимости для отношения между числом пересечений процессом заданного ( $X_0$ ) и нулевого уровней:

$$\frac{\nu(X_0)}{\nu(0)} = \exp(-X_0^2 / 2\sigma_{\text{н}}^2). \quad (11)$$

Если допустить, что только 10% пиков могут достигь и превысить уровень  $X_0$ , то из (11) имеем  $\sigma_{\text{н}} = 3,8$  В.

Качество установки оценивалось по ее частотной характеристике, линейности, коэффициенту нелинейных искажений гармонического сигнала, уровню и спектру помех. На рис. 3 кривые 1—3 показывают изменение коэффициента усиления  $K_{\text{н}}$  системы, выраженного в относительных единицах в функции частоты при трех уровнях входного сигнала.

Коэффициент нелинейных искажений гармонического сигнала оказался в пределах 10 ÷ 15%, что допустимо из соображений значимости составляющих.

Помехи установки исследовались при нулевом входном сигнале. Общий уровень помех  $\sigma_{\text{п}}$ , приведенный к входу модулятора, оказался равным 1,3В, что позволяет воспроизвести и измерить суммарную виброскорость с точностью  $\sigma_{\text{п}} / \sigma_{\text{н}} = \sigma_{\text{п}} / \sigma_{\text{н}} = 1,07$ , т. е. 7%.

Поскольку спектр помех неравномерен, оценивалась точность измерения детерминированных составляющих спектра фильтром с  $Q=50$ . Кривая 4 на рис. 3 показывает отношение величины составляющей, которую в условиях помех еще можно измерить с точностью 20%, к суммарной виброскорости на различных частотах. Как видно, во всех случаях оно меньше 0,1.

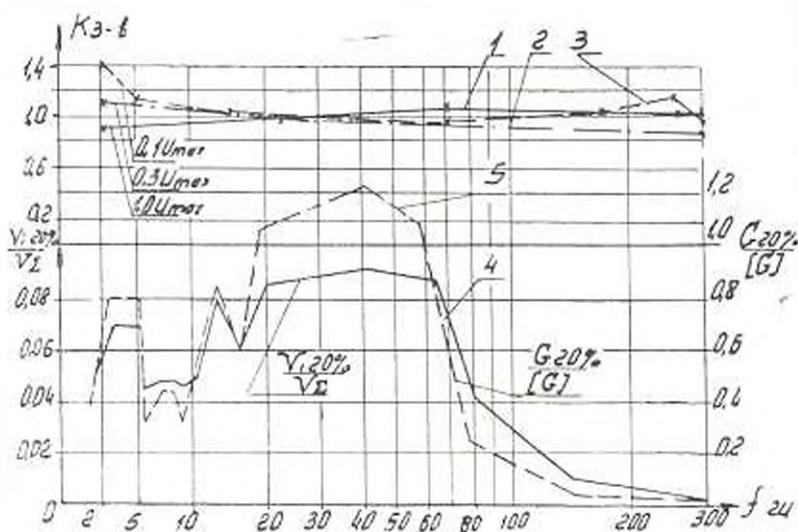


Рис. 3.

При оценке возможностей измерения спектральной плотности случайных составляющих в условиях помех, следует сначала установить, какой уровень  $Q$  считать значимым. Чисто случайные составляющие проявляются обычно в зонах резонансов упругой системы [4]. Такая зона спектральной плотности может считаться значимой, если она изменяет  $V_Σ$ , по крайней мере, на 10%, т. е. составляет 0,2  $V_Σ$ . Полагая наименьшую добротность резонансной характеристики упругой системы  $Q_1 = 5$ , и учитывая, что 80% всей энергии спектра уже укладывается в области от  $G_{рез}$  до 0,46  $G_{рез}$ , можем записать значимый уровень  $[G]$  спектральной плотности как

$$[G] = 0,46 \frac{0,2 V_Σ Q_m}{f} = \frac{6,6}{f} [B^2 / Гц]. \quad (12)$$

где  $V_Σ = \sigma_{вх}$ .

Кривая 5 на рис. 3 показывает отношение уровня спектральной плотности  $G_{рез}$ , который в условиях помех еще можно измерить с точностью 20%, к значимому по (12) уровню  $[G]$  на различных частотах. Как видно, эта точность выдерживается с запасом, кроме области 20-60 Гц, в которой значимый уровень  $[G]$  измеряется с ошибкой 25%.

Таким образом, разработанная установка во всех отношениях

удовлетворяет условиям анализа спектра неравномерности скорости узла подачи станков.

Գ. Վ. ԱՆՉԻՅԱՆ

ՀԱՍՏՈՑԻ ՄԱՍՈՒՑՄԱՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑԻ ՇԱՐՎՄԱՆ ԱՆՁԱՎԱՍԻՐԱԳԱՎՈՒԹՅԱՆ  
ՍՊԵԿՏՐԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒՄԻՆՈՒԹՅԱՆԻ

Ա ճ փ ո փ ո ս Վ

Հողվածուժ բերված է ուղղանիզ-ֆրեկերային հաստոցի պարապը բնիացքի ժամանակ մատուցման հանդույցի շարժման ուղեհամարաչափության վերլուծության համար առաջարկվող հարանչի նկարագրությունը:

Վերլուծության են ենթարկված հաստոցի առաջընթաց շարժվող սպրանի քրիտարագության ազդանշանի ուսումնասիրման համար սպեկտրակ վերլուծության կիրառման առանձնահատկությունները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Пуш В. Э. Малые перемещения в станках. Машгиз, 1961.
2. Кудшов В. А. Динамика станков. Изд. «Машиностроение», 1967.
3. Baxter B., Bernhard B. Vibration an indicating tool „Mechanical Engineering“, V. 90, No 13, 1968.
4. Бровман Я. С., Демирмян К. С., Шмугер С. Я. Диагностика источников вибрации асинхронного электродвигателя. «Электротехника», № 1, 1973.
5. Харкович А. А. Спектры и анализ. Физматгиз, 1962.
6. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. Изд. «Мир», 1971.
7. Агабабян А. Г., Саргсян С. А., Слезингер П. И. Система унифицированных блоков управления автоматической балансировкой. Сб. «Теория и практика балансировочной техники» под ред. В. А. Щепетильникова. Изд. «Машиностроение», 1973.
8. Левик Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая. Изд. «Сов. радио», 1969.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. Г. САРКИСЯН

СВЯЗЬ МЕЖДУ ОТНОСИТЕЛЬНЫМ СДВИГОМ,  
 УСАДКОЙ СТРУЖКИ И УГЛОМ ТЕКСТУРЫ

Схема стружкообразования с единственной плоскостью сдвига позволяет установить связь между относительным сдвигом ( $\varepsilon$ ) и усадкой стружки ( $\xi$ ) в виде

$$\varepsilon = \frac{\xi^2 - 2\xi \sin \gamma + 1}{\xi \cos \gamma} \quad (1)$$

Следует заметить, что уравнение (1) выведено при условии неизменности переднего угла ( $\gamma$ ), хотя и при наличии нароста  $\gamma$  участвует в процессе резания не своей номинальной величиной и, кроме того, зависит от установки реза, износа и т. д. К тому же, если учесть, что схема простого сдвига не учитывает сложность деформации в зоне резания, то надо полагать, что относительный сдвиг, рассчитанный по (1), не всегда соответствует реальной степени деформации этой зоны. Поэтому целесообразно получить зависимости, связывающие степень деформации с параметрами снятой стружки и отражающие реальные условия резания, независимо от схемы деформации.

Исследованиями процесса стружкообразования методом координатных сеток установлено [1, 2], что линии, которые до деформации перпендикулярны направлению движения реза (линия ММ на рис. 1),

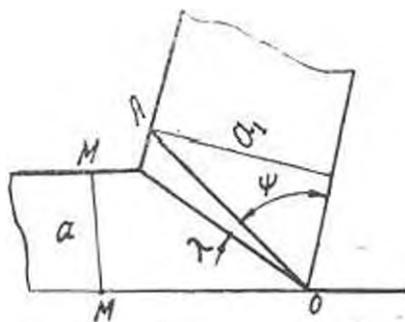


Рис. 1

во всех случаях точно совпадают с направлением наибольшей деформации зерен — с текстурой стружки (линия Ю). Исходя из этого, мож-

но определить величину главной деформации удлинения ( $e$ ) и, тем самым, величину относительного сдвига. Так, из рис. 1 следует, что

$$e = \ln \frac{AO}{MM} \quad \text{или} \quad e = \ln \frac{\xi}{\sin \psi},$$

где  $\xi = a_1/a$  — усадка стружки;  $\psi$  — угол между направлением текстуры и передней поверхностью резца, величина которого определяется микрофотографированием продольного сечения стружки.

При плоской деформации истинный сдвиг будет

$$\varepsilon_n = 2e = 2 \ln \frac{\xi}{\sin \psi}, \quad (2)$$

с другой стороны [3] —

$$\varepsilon_n = \ln \left( 1 + \frac{\varepsilon^2}{2} + \varepsilon \sqrt{1 + \frac{\varepsilon^2}{4}} \right), \quad (3)$$

Причем, формула (3) справедлива не только для схемы деформации простого сдвига, но и для сдвига со сжатием.

Приравняв (2) и (3), получаем:

$$\varepsilon = \frac{\xi^2 - \sin^2 \psi}{\xi \sin \psi}, \quad (4)$$

одновременно зная [3], что

$$\frac{\varepsilon}{2} + \sqrt{1 + \frac{\varepsilon^2}{4}} = \operatorname{ctg} \lambda, \quad (5)$$

можно написать:

$$\xi = \operatorname{ctg} \lambda \cdot \sin \psi, \quad (6)$$

где  $\lambda$  — угол текстуры.

Выражение (4), связывающее относительный сдвиг с усадкой стружки, свободно от недостатков, присущих (1), так как входящий в него фактический угол  $\psi$  отражает не только действие реального переднего угла, но и результаты процессов, происходящих в зоне резания.

Представляет интерес и зависимость (6), в которой усадка стружки связывается с углами, образующимися непосредственно в динамике процесса резания. Она не подразумевает постоянства переднего угла

$\gamma$ , как в известной формуле Тиме  $\xi = \frac{\cos(\theta - \gamma)}{\sin \delta}$ , и выведена негеометрическим путем.

Выведенную зависимость (4) можно было получить, не используя связь относительного сдвига с усадкой стружки, данную в работе [2], где степень деформации определяется следующим образом:

$$\epsilon = 2\text{sh} \left[ \ln \sqrt{\frac{\epsilon^2}{2\sin^2\psi} + \sqrt{\frac{\epsilon^2}{4\sin^4\psi} - \text{ctg}^2\psi}} \right], \quad (7)$$

Причем, при всех практически возможных значениях угла  $\psi$  выражение (7) можно представить (с ошибкой менее 0,5%) в виде [1]

$$\epsilon = 2\text{sh} \left[ \ln \frac{\epsilon}{\sin\psi} \right], \quad (8)$$

откуда следует, что

$$\text{Arsh} \frac{\epsilon}{2} = \ln \frac{\epsilon}{\sin\psi}. \quad (9)$$

Поскольку

$$\text{Arsh} \frac{\epsilon}{2} = \ln \left( \frac{\epsilon}{2} + \sqrt{1 + \frac{\epsilon^2}{4}} \right), \quad (10)$$

то из сопоставлений (9) и (10) получим зависимость (4), а учитывая (5), — зависимость (6).

Экспериментальное доказательство для (4) здесь не проводится, поскольку в работе [2] оно дано для выражения (7), которое, как уже указывалось, эквивалентно выражению (4).

Для экспериментального обоснования величины угла текстуры ( $\lambda$ ) в табл. 1 приводятся его значения, экспериментально найденные из микрофотографий корней стружек и рассчитанные по (6). Эксперименты проводились на железе Армко и Ст 38А в зависимости от скорости резания при  $s = 0,39 \text{ м.м./об.}$ ,  $t = 1,0 \text{ м.м.}$  Применялись резцы, оснащенные пластинками из твердого сплава Т15К6, имеющие следующие углы:  $\gamma = 5^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\alpha_1 = 8^\circ$ ,  $\alpha_2 = 8^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ . Корни стружки получены на специальном приспособлении [4].

Таблица 1

$v_c$ м. мин	Железо Армко				Сталь 38А			
	$\lambda$	$\psi$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\lambda_{\text{эксп}}$	$\lambda$	$\psi$	$\lambda_{\text{расч}}$	$\lambda_{\text{эксп}}$
20	3,4	75	10°	10°	2,0	53°	22°	20°
30	3,1	69	10°30'	12°	1,8	50°	23°	22°
50	4,7	66	11°	14°	1,7	44°	22°	24°
80	3,8	63	13°	15°	1,5	41°	23°30'	24°
100	3,3	60	15°	16°	—	—	—	—
125	3,0	58	16°	16°	1,25	38°	26°	25°
155	2,8	52	16°	18°	—	—	—	—

Из табл. 1 следует, что экспериментальные значения угла текстуры с достаточной точностью совпадают с его значениями, вычисленными по формуле (6) в широком интервале изменений условий резания.

Бюрянская оптико-механическая лаборатория

АН АрмССР

Поступило 16.XI.1976.

Ա. Գ. ԿՈՒԲԱՆՅԱՆ

ՀԱՐԱՆԵՐԱԿԱՆ ԾԱՀԲԻ, ՏԱՇԵՂԻ ԿՇԿՐԱՆ ԵՎ ՏԵՔՍՏՈՒՐԱՅԻ  
ԱՆԿՅԱՆ ԸՐՁԵՎ, ԳՈՅՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒՆԵՑՈՂ ԿԱՊԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հոդվածում առաջարկվում են նոր հալասարումներ կտրման գոնություն զեֆորմացիայի առիճանի և տիրոտուրայի անկյան մեծությունների որոշման համար, որոնք դուրս են բերված առանց պարզ սահճի սխեմայի ոգնության: Փորձարկման տվյալների հիման վրա ցույց է տրված, որ բերված հալասարումները որակապես ձիշտ պատկերացում են ապիս նշված մեծությունների մասին կտրման գոնայում:

## ЛИТЕРАТУРА

1. Կոփաբև Գ. Լ., Ըել Գ. Լ., Դոլժմիմիճ Մ. Գ. Օ хярактеристике степени деформации металла при резании «Известия ТГПИ», т. 173, 1970.
2. Կոփաբև Գ. Լ. Деформация металла в зоне резания при образовании сдвижной стружки. Диссертация. Томск, 1958.
3. Зорев Н. И. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, 1956.
4. Саркисян А. Գ., Минигян Գ. Տ. Устройства для получения корня стружки. Авт. свид. 419324.

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Կ. Մ. ХОДЖАՅԱՆԸ, Բ. Ա. ՏԱՐԿԻՅԱՆԻ, Կ. Ա. ՆԱՐԻՆՅԱՆԻ

ДВУХПОЗИЦИОННЫЙ КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫЙ РЕГУЛЯТОР  
 ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ

Одним из основных параметров, требующих высокой точности регулирования в современных технологических процессах, является температура. Поэтому оптимальный выбор технических средств регулирования имеет огромное народно-хозяйственное значение. Около 80% регулируемых технологических устройств в народном хозяйстве удовлетворяются при точности регулирования от 0,5 до 1,5%.

В высокоточных аналоговых регуляторах регулируемая величина фиксируется непрерывно и постоянно сравнивается в компараторе с задающей величиной. Сигнал ошибки воздействует через регулятор на регулируемый объект, поддерживая постоянной регулируемую величину при определенных возмущениях. Напротив, в двухпозиционном регуляторе регулируемый параметр фиксируется периодически, прерывисто, также прерывисто происходит воздействие регулятора на регулируемый объект. При таком регулировании значительно упрощается система регулирования, но появляются значительные отклонения в регулировании. Снабдив двухпозиционный регулятор простейшими корректирующими цепями RC, можно значительно снизить эти отклонения. При этом регулятор превращается в импульсно-пропорциональный с ПД или ПИД законами регулирования. Ввиду повышения частоты колебаний регулятора, амплитуда колебаний регулируемой величины значительно уменьшается, характеристики регулирования при этом мало отличаются от таковых для аналоговых регуляторов.

При не слишком жестких требованиях, на практике импульсно-пропорциональные регуляторы с ПД и ПИД законами регулирования изготавливаются для фиксированных значений времен издрорма и предварения. Это обстоятельство значительно упрощает систему корректирующей обратной связи в регуляторе, снижает его вес, габариты и стоимость. За рубежом около 70% регуляторов температуры изготавливаются по вышеописанному принципу.

Развитие микроэлектроники в настоящее время позволяет в корне пересмотреть вопросы организации, конструирования и серийного производства регуляторов температуры широкого применения. При сравнительно небольшом количественном повышении квалификации разработчиков можно одновременно добиться значительного снижения требований к квалификации рабочих и ИТР в серийном производстве, повышения технологичности и интенсификации производства.

Следует отметить, что двухпозиционному автоматическому регулированию, несмотря на его прогрессирующее распространение, в нашей печати уделяется очень мало внимания и вовсе отсутствуют работы по комплексному рассмотрению работы двухпозиционного регулятора на интегральном операционном усилителе в составе объекта регулирования.

**Работа регулятора при разомкнутом цикле.** Характеристика двухпозиционного регулятора представлена на рис. 1, из которого видно, что при отклонении регулируемой величины  $x$  от заданного  $w$  приток тепла  $Q$  скачком изменяется от максимального значения до 0. Диапазон нечувствительности или гистерезис включения составит:

$$\Delta U = x - w > U_c;$$

$$\Delta U = w - x < U_0;$$

где  $U_c$  и  $U_0$  — приведенные ко входу пороги срабатывания и отсуживания триггера.

Применяя операционный усилитель с большим коэффициентом усиления, можно уменьшить зону нечувствительности.

На рис. 2 приведена упрощенная принципиальная схема регулятора.

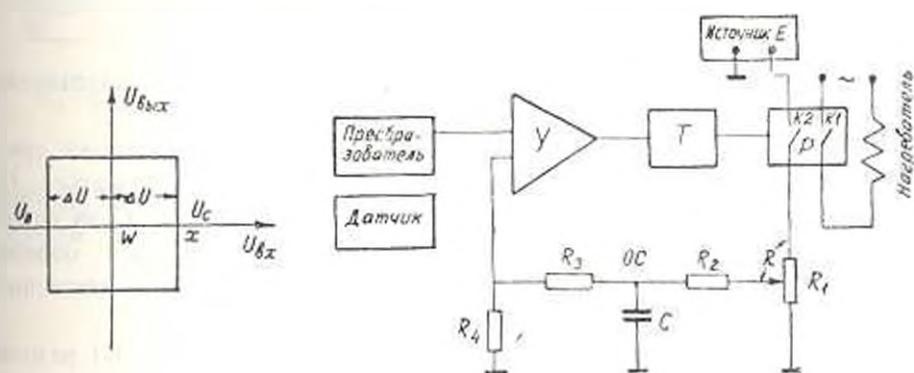


Рис. 1. Характеристики двухпозиционного регулятора.

Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема регулятора.

ра, где  $У$ —интегральный операционный усилитель;  $Т$ —триггер;  $ОС$ — цепь обратной связи. Без цепи  $ОС$  регулятор работает по двухпозиционной схеме. Для перехода к импульсно-пропорциональному регулированию периодически замыкается и размыкается ключ  $К2$ . Для операционного усилителя с достаточно большим коэффициентом усиления ( $К1УТ401Б$ ,  $К1УТ402$ ) коэффициент передачи определяется выражением:

$$k = \frac{R_{12}}{R_{11}} \gg 1.$$

Передаточная характеристика регулятора совместно с ОС будет иметь вид

$$K_{\Sigma} = \frac{R_{oc}}{R_{oc}} (1 + T_D P),$$

где  $T_D$  — время предварения.

При включении регулятора, когда температура объекта ниже заданной, в преобразователе датчика возникает положительная расстройка, и, при достаточной величине этой расстройки, срабатывает исполнительное устройство, состоящее из триггера Т и реле Р, контакт К1 замыкается и включаются нагреватели рис. 2. Одновременно размыкается контакт К2. Нагреватели будут включены до тех пор, пока температура объекта не достигнет заданного значения и частично превысит это значение. В этот момент произойдет обратное срабатывание триггера и нагреватели выключатся, так как напряжение  $kU$  станет равным 0 или несколько меньше 0. После выключения нагревателей,  $kU$  снова будет возрастать, в то же время, ввиду замыкания ключа К2, начнется заряд конденсатора С от источника питания через  $R_1$  и  $R_2$ .

Суммарное напряжение, поступающее на вход измерительного усилителя, при этом будет равно

$$U_{\Sigma} = |U| + U_{oc},$$

где  $|U|$  — напряжение расстройки измерительного преобразователя;  $U_{oc}$  — напряжение обратной связи.

Когда  $U_{\Sigma}$  превышает пороговое значение  $U_c$ , срабатывает триггер и включаются нагреватели,  $|U|$  будет медленно понижаться,  $U_{oc}$  будет быстро спадать, благодаря разряду конденсатора С на сопротивление  $R_1 \parallel R_2$ , нагреватели снова выключатся. Таким образом возникает автоколебательный режим, обеспечивающий существенное снижение амплитуды автоколебаний.

Когда напряжение на входе триггера меньше  $kU_c$ , ключ К1 разомкнут, ключ К2 замкнут и происходит заряд конденсатора С.

Процесс заряда конденсатора описывается обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами

$$\tau \frac{dU}{dt} + U(t) = E, \quad (1)$$

где  $\tau = R_2 C$  — постоянная времени цепи заряда;  $E$  — э. д. с. источника питания.

Решение уравнения (1) имеет вид

$$U_{\text{зад}}(t) = U(\infty) - [U(\infty) - U(0)] e^{-t/\tau}. \quad (2)$$

В качестве граничных условий примем:

$U(\infty)$  — установившееся значение напряжения на выходе цепи ОС (на  $R_1$ );

$U(0)$ —начальное напряжение на выходе;  
так же учтем, что

$$U(\infty) = \frac{E}{R_1} \cdot \frac{(R_2 - R)R_3}{R_2 + R_3 + R_4}$$

При  $R = R_1$  имеем двухпозиционный режим регулирования. При  $R < R_1$  пропорционально дифференциальный (ПД) режим регулирования. При этом коэффициент пропорциональности увеличивается с уменьшением  $R$  и  $R_1$ .

На рис. 3 приведены кривые  $U(t)$  при различных положениях движка потенциометра. Как видно из рис. 3, время выключенного

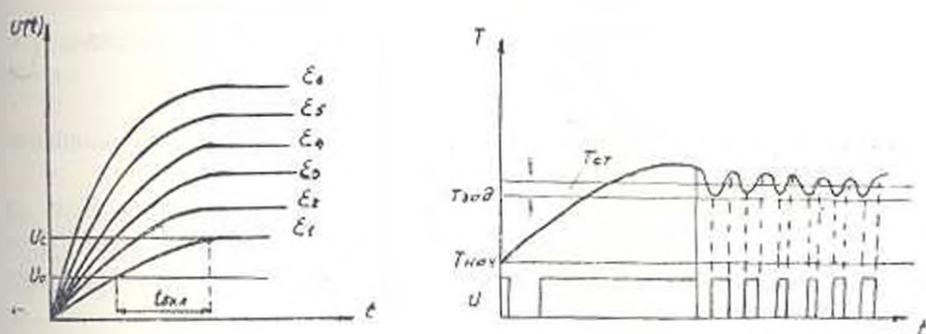


Рис. 3. Кривые  $U(t)$  при различных положениях движка потенциометра  $R$ .  
Рис. 4. График ПД регулирования

состояния регулятора  $t_{\text{выкл.}}$ , а следовательно, период будет зависеть от  $\epsilon$ . Чем больше  $\epsilon$ , тем меньше  $t_{\text{выкл.}}$ . Из (2) можно вычислить

$$t_{\text{выкл.}} = R_2 C \ln \frac{\epsilon - U_0}{\epsilon - U_c} \tag{3}$$

Так как  $\frac{U_0}{\epsilon} \ll 1$  и  $\frac{U_c}{\epsilon} \ll 1$ , то разложение в ряд Тейлора дает

$$t_{\text{выкл.}} = R_2 C \frac{U_c - U_0}{\epsilon} \tag{4}$$

(заметим, что  $U_c - U_0$ —гистерезис включения регулятора).

Когда напряжение на выходе операционного усилителя равно  $\epsilon U_c$ , триггер срабатывает, включается ключ К1 и выключается К2. Начинается разряд конденсатора  $C$  на параллельную цепь  $(R_2 + R_4) \parallel (R_2 + R_3 - R)$ . Решение уравнения (1) для разряда будет иметь вид

$$U_{\text{разр}}(t) = \epsilon U e^{-t/\tau_{\text{разр}}} \tag{5}$$

где  $\tau_{\text{разр}} = (R_2 + R_4) \parallel (R_2 + R_3 - R) C$ .

Так как  $R_2$  и  $R_4 \ll R_2$  и  $R_3$  (из схемных соображений), то

$$\tau_{\text{разр}} \approx \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} C.$$

При этом  $U(\infty) = 0$ ,  $U(0) = U_c$ .

Из (5) время включенного состояния

$$t_{\text{вкл}} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} C \ln \left( \frac{U_c}{U_0} \right) \quad (6)$$

Так как  $\frac{U_c - U_0}{U_0} \ll 1$ , то

$$t_{\text{вкл}} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} C \left( \frac{U_c}{U_0} - 1 \right). \quad (7)$$

Период колебаний будет

$$T = t_{\text{вкл}} + t_{\text{выкл}}.$$

Для данной схемы  $\varepsilon$ ,  $U_c$ ,  $U_0$  постоянны, поэтому период колебаний будет зависеть от  $\varepsilon$ .

**Влияние параметров объекта на процессы регулирования.** Если на один из входов операционного усилителя поступает сигнал  $|U|$  от объекта, то граничные условия при решении уравнения (1) будут следующие:

$$U(\infty) = \varepsilon; \quad U(0) = U_0 \pm |U|;$$

$$U(t) = U_c \pm |U|,$$

где знак «+» для положительных сигналов (объект требует нагрева), знак «-» для отрицательных сигналов (нагрев необходимо выключить).

$$t_{\text{выкл}} = R_2 C \ln \frac{\varepsilon - (U_0 - U)}{\varepsilon - (U_c - U)} \quad (8a)$$

или

$$t_{\text{выкл}} \approx R_2 C \varepsilon \frac{U_c - U_0}{\varepsilon - U}. \quad (8b)$$

Как видно из (8), время выключения при отрицательных сигналах уменьшается, а при положительных увеличивается, что соответствует нагревотому и холодному состояниям объекта.

Для времени включения получим:

$$t_{\text{вкл}} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} C \ln \frac{U_c \pm U}{U_0 \pm U} \quad (9a)$$

или

$$t_{\text{вкл}} \approx \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} C \left( \frac{U_c - U_0}{U_0 + U} \right) \quad (96)$$

При положительных сигналах время включения уменьшается, при отрицательных — увеличивается. Период колебаний и скважность будут одновременно зависеть от напряжений  $\varepsilon$  и  $U$ .

На рис. 4 представлена характеристика ПД регулирования.

При первом включении регулятор от нескольких до нескольких десятков минут включает нагреватели, при этом температура объекта растет и несколько переходит заданное значение, затем нагрев объекта выключается и включается периодически, но с различной скважностью, соответствующей термодинамическому состоянию объекта. При этом точная установка задания невозможна; возникает статизм, который вносит некоторую систематическую погрешность в регулирование.

**Погрешности регулятора.** Относительная погрешность установки задатчика

$$|\delta_2| = \frac{R_{\text{зкл}} - R_{\text{зад}}}{\Delta R}$$

где  $R_{\text{зкл}}$  — сопротивление, соответствующее значению сопротивления термометра или компаратора;  $R_{\text{зад}}$  — истинное значение сопротивления задатчика;

$\Delta R$  — диапазон изменения сопротивления задатчика

$|\delta_{\text{д.др}}|$  — относительная погрешность, возникающая за счет временного дрейфа;

$|\delta_{\text{т.др}}|$  — относительная погрешность, возникающая за счет температурного дрейфа;

$|\delta_{\text{н}}|$  — относительная погрешность, возникающая за счет изменения напряжения питания;

$|\delta_{\text{п}}|$  — относительная погрешность от радио и сетевых помех.

Указанные погрешности не коррелированы, поэтому [3]

$$\delta = (\delta_{\text{н}}^2 + \delta_{\text{д.др}}^2 + \delta_{\text{т.др}}^2 + \delta_{\text{п}}^2 + \delta_{\text{н}}^2)^{1/2}$$

Если тривиально за основную погрешность принять  $|\delta_{\text{н}}|$ , то остальные погрешности будут считаться дополнительными, при этом уменьшение погрешности  $|\delta_{\text{н}}|$  возможно достигнуть более простыми средствами, чем  $\delta_{\text{д.др}}$  и  $\delta_{\text{п}}$  [4,5], ибо  $\delta_{\text{д.др}}$  и  $\delta_{\text{п}}$  в операционном усилителе постоянного тока имеют противоположную тенденцию при компенсации. Так, в усилителе с преобразователем трудно подавить  $\delta_{\text{д.др}}$  и усилителе без преобразователя  $\delta_{\text{п}}$  труднее компенсируется.

Кроме  $\delta$  в регуляторе имеется также систематическая погрешность, непосредственно складывающаяся с  $\delta_2$ . (Это — статизм при ПД регулировании). Она может быть учтена при градуировке шкалы задатчика для объектов, имеющих постоянные термодинамические параметры, или же путем введения издромного регулирования.

Как было показано выше, регулятор обеспечивает импульсно-пропорциональный режим при установившемся процессе, при этом период колебаний составляет 1—20 сек. Процесс установления продолжается от нескольких до десятков минут. Поэтому регулятор более относится к аналоговым регуляторам и назван—квази непрерывным.

Поступило 18.IV.1975.

ՅՈՒ. Մ. ԿՈՋԱՅԱՆՑ, Ռ. Ա. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Կ. Ա. ԱՄՐՈՒՅԱՆ

ՕՊԵՐԱՑԻՈՆ ՈՒՏԵՎԱՅՈՒՑԻՋՈՎ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԵՐ ԵՐԿՐԵՔՈՅԻՆ  
ՔՎԱԶԻՆԵՐՄԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՐԶ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հարգածում գրտված է ինտեգրալ օպերացիոն ուժեղացուցիչով չերմաստիճանի երկդիրքային կարգավորիչի աշխատանքը՝ իմպուլսային համեմատական դիֆերենցուգ-ճշգրտող հեռադարձ կապով:

Ստացված են արտահայտություններ կարգավորիչի միաջաման ու անջաման ժամանակները ստատիկ ու դինամիկ ուժեղանքում հաշվարկելու համար: Վերլուծության է ենթարկված սխեմանի կայունությունն ալգմուկներին և բացահայտված է կարգավորման սխալը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Der Operationsverstärker als elektronischer Regler. „Elektronik“, №21,2, 1973.
2. Кашко-Ведми А. А. Автоматическое звуко-оптическое регулирование. Изд. «Наука», М., 1967.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. «Наука», М., 1969.
4. Сергеев А. Н., Цепенко М. П. Методы уменьшения помех в термометрических цепях. Изд. «Энергия», М., 1968.
5. Шилло В. В. Линейные интегральные схемы. Изд. «Сов. радио», М., 1974.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Б. М. МАМОНЯН

К РАСЧЕТУ КОМПЛЕКСНОГО МАГНИТНОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

Для сравнительно точного расчета электромагнитных устройств переменного тока необходимо иметь значения удельных активной ( $\rho_R$ ) и реактивной ( $\rho_X$ ) составляющих комплексного магнитного сопротивления материала магнитопровода. Этими параметрами определяются активная и реактивная мощности перемагничивания сердечника, комплексная магнитная проницаемость, напряженность магнитного поля, сдвиг фаз между векторами напряженности и магнитной индукции.

При заданной частоте синусоидальной напряженности значения  $\rho_R$  и  $\rho_X$  ферромагнитных материалов зависят от величины индукции  $B$ . В справочных не приводятся значения  $\rho_R$  и  $\rho_X$  для магнитных материалов; при необходимости их определяют экспериментально. Для некоторых марок сталей зависимости  $\rho_R$  и  $\rho_X$  от  $B$  получены в [1+4]. В [2] выведены уравнения, которыми аппроксимируются опытные кривые  $\rho_R$  и  $\rho_X$ . Эти уравнения, охватывая весьма широкий диапазон изменения индукции (до полного насыщения), в области низких индукций не лучшим образом аппроксимируют опытные кривые, а для области сверхнизких индукций — неприменимы.

Существует множество электромагнитных устройств информационно-измерительной техники (индуктивные и трансформаторные преобразователи перемещений, магнитные мосты и т.п.), для которых значения индукции в сердечниках расположены на кривой намагничивания ниже верхней границы ее линейной части ( $B < B_c$ ). Кроме того, на некоторых участках магнитопровода указанных устройств (например, в измерительной диагонали магнитного моста) индукция изменяется непосредственно с нуля. С целью получения более точных уравнений для  $\rho_R$  и  $\rho_X$ , применимых для узкой области индукций  $B < B_c$ , нами экспериментально определены зависимости  $\rho_R$  и  $\rho_X$  от  $B$  для стали Э43 и пермаллоев 50НН, 79НМ на частоте 50 Гц. Необходимость постановки эксперимента была обусловлена тем, что известные кривые  $\rho_X$  либо не охватывают область сверхнизких индукций [3], либо недостаточно четки в этой области [2, 4]. К тому же, для перечисленных выше материалов, столь широко применяемых в приборостроении, в литературе отсутствуют экспериментально снятые кривые  $\rho_R$  и  $\rho_X$ .

Из исследуемых материалов были изготовлены образцы в виде кольцевого сердечника, на котором равномерно распределялись намагничивающая ( $w_1$ ) и измерительная ( $w_2$ ) обмотки. Были испытаны три образца:

образец № 1—сердечник размерами  $95/105 \times 13,3$  мм, набранный из штампованных колец стали Э43, толщина листа 0,35 мм,  $w_1 = w_2 = 1000$ ;

образец № 2—сердечник размерами  $49/79 \times 20$  мм, намотанный лентой толщиной 0,05 мм из пермаллоя 50НП,  $w_1 = 220$ ,  $w_2 = 440$ ;

образец № 3—сердечник размерами  $40/50 \times 20$  мм, намотанный лентой толщиной 0,05 мм из пермаллоя 79НП,  $w_1 = w_2 = 390$ .

Известны различные установки, предназначенные для сравнительно точного определения зависимостей  $\rho_M$  и  $\rho_X$  от индукции магнитомягких материалов. Они выполнены на базе компенсатора переменного тока [4] или поворотных трансформаторов [5]. Наличие в них вспомогательных трансформаторов вносит дополнительную погрешность в результат измерения. Для исследований нами выбрана установка, использующая в качестве трансформатора исследуемый образец. Схема установки изображена на рис. 1. Установка представляет собой мост переменного тока по схеме Холла [6].

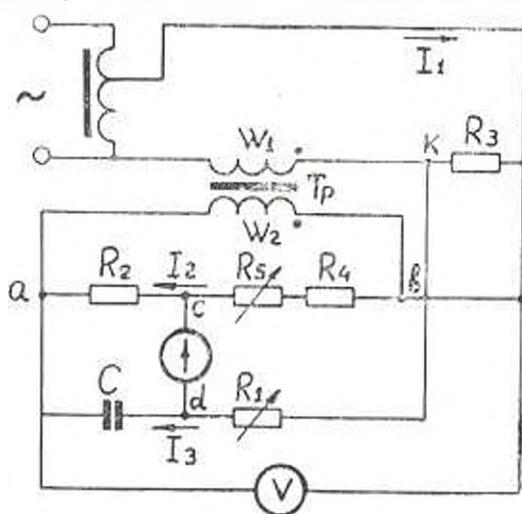


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

Исследуемый образец  $T_p$  работает в режиме холостого хода, так как сопротивление измерительной обмотки пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлениями моста ( $R_2 = 100$  ком,  $C = 0,05$  мкф). Величина намагничивающего тока  $I_1$  регулировалась автотрансформатором ЛАТР-2М. Для определения индукции в сердечнике измерялась э. д. с. измерительной обмотки  $E_2$  (действующее значение), а по формуле



$$I_2(R_2 + R_3 + R_3) = I_3 \left( \frac{1}{j\omega C} + R_1 + R_3 \right) + I_1 R_3.$$

Цепь уравнивается следующим образом: регулировкой  $R_1$  точка  $d$  по окружности переносится на прямую  $ab$ , а регулировкой  $R_3$  точка  $C$  совмещается с точкой  $d$ .

Уравнивая мост при различных значениях намагничивающего тока и измеряя  $E_p$ , с помощью формул (2) и (3) определялись точки зависимостей  $\rho_R = f_1(B)$  и  $\rho_X = f_2(B)$ .

Следует отметить, что хотя в (2) и (3) не входит величина напряжения, питающего цепь, однако при изменении последнего равновесие цепи нарушается, так как изменяется индукция в сердечнике, а следовательно, изменяются  $\rho_R$  и  $\rho_X$ .

Результаты экспериментов представлены на рис. 3, 4, 5. Для всех

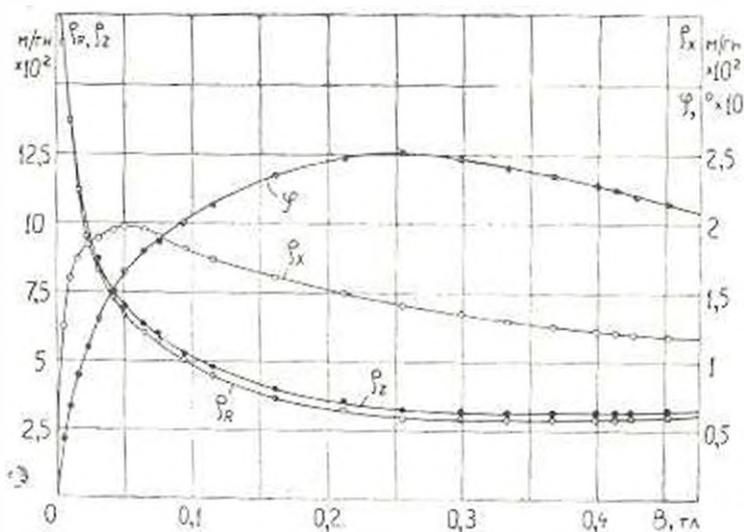


Рис. 3. Опытные кривые магнитного сопротивления стали Э43 (толщина листа 0,35 мм).

трех образцов экспериментально полученные первые точки кривой  $\rho_X$  соединены с началом координат, поскольку  $\rho_X$  прямо пропорционально величине потерь в стали, которые равны нулю только при  $B=0$ . На этих же графиках представлены зависимости  $\rho_Z = f_3(B)$  и  $\varphi = f_4(B)$ , построенные по опытным значениям  $\rho_R$  и  $\rho_X$  согласно соотношениям

$$\rho_Z = \sqrt{\rho_R^2 + \rho_X^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{\rho_X}{\rho_R}.$$

где  $\rho_Z$  и  $\varphi$  — соответственно модуль и фаза комплексного удельного магнитного сопротивления материала.

Кривые  $\rho_{\Sigma}$  показывают, что для стали Э43  $B_1 \approx 0,4 \text{ тл}$ , для пермаллоя 50НП  $B_1 \approx 0,9 \text{ тл}$ , для пермаллоя 79НМ  $B_1 \approx 0,18 \text{ тл}$ ; выше этих значений индукции  $\rho_{\Sigma}$  снова начинает увеличиваться.

Оценим точность эксперимента. Суммарная погрешность эксперимента, согласно [6], складывается из погрешности определения  $\rho_R$

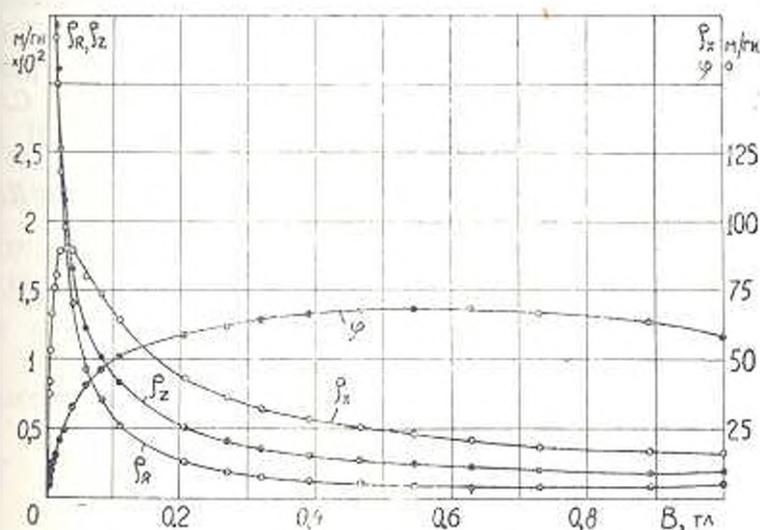


Рис. 4. Опытные кривые магнитного сопротивления пермаллоя 50НП (толщина ленты 0,05 мм).

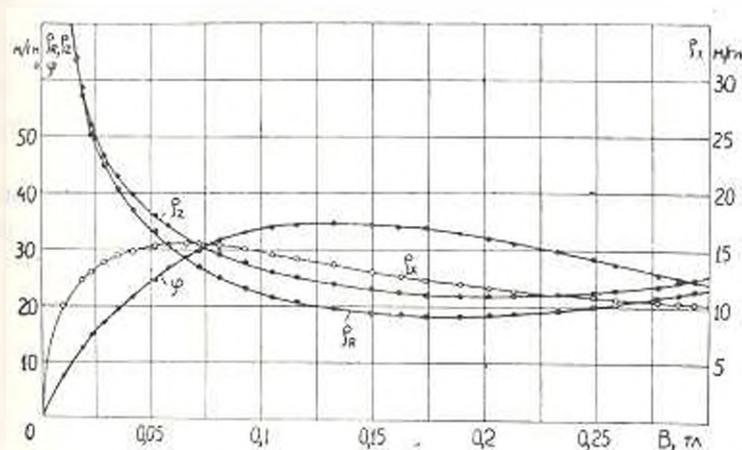


Рис. 5. Опытные кривые магнитного сопротивления пермаллоя 79НМ (толщина ленты 0,05 мм).

или  $\rho_X$  по уравнениям (2) или (3) и погрешности определения  $B$  по уравнению (1). Относительная погрешность определения  $\rho_R$  вычисляется по формуле

$$\gamma_{iR} = \pm \frac{1}{\rho_R} \sum_{l=1}^n \frac{\partial \rho_R}{\partial x_l} \cdot x_l \gamma_l, \quad (4)$$

где  $x_l$  —  $l$ -й параметр, входящий в (2);  $\gamma_l$  — относительная погрешность  $l$ -го параметра, выраженная в процентах.

При экспериментах значения регулируемых сопротивлений  $R_1$  и  $(R_1 + R_2)$  для всех образцов находились в диапазоне 0,1–1,0 ком. Для образцов №№ 1, 2 и 3 величина сопротивления резистора  $R_2$  соответственно была выбрана равной 1; 2 и 5 ом. Следовательно, при определении погрешности  $\gamma_{c_x}$  в числителе (2) можно пренебречь погрешностью члена  $R_2(1 + \frac{\omega_0}{\omega_1})$  по сравнению с  $R_1$ , а в знаменателе — погрешностью  $R_1 + R_2$  по сравнению с  $R_2$  ( $R_2 = 100$  ком). Учитывая сказанное и применяя формулу (4) к уравнению (2), получим:

$$\gamma_{c_x} = \pm (2\gamma_w - \gamma_l + \gamma_s + \gamma_{R_1} + \gamma_{R_2} + \gamma_t)\%. \quad (5)$$

Аналогично для  $\gamma_{c_x}$  и  $\gamma_a$  будем иметь:

$$\gamma_{c_x} = \pm |\gamma_w - \gamma_l + \gamma_s + \gamma_{(R_1 + R_2)} - \gamma_{R_2} - \gamma_{R_1}| \%; \quad (6)$$

$$\gamma_a = \pm (\gamma_l - \gamma_t - \gamma_s)\%. \quad (7)$$

Частота сети контролировалась щитовым частотомером типа ЕМР73/9 класса точности 0,5 с пределом измерения 47–53 гц. При измерении частоты  $f=50$  гц относительная погрешность составляет

$$\gamma_w = \gamma_f = \frac{6 \cdot 0,5}{50} = \pm 0,06\%.$$

Линейные размеры сердечников измерялись с погрешностью  $\gamma_l = \pm 0,1\%$ , следовательно,  $\gamma_s = \pm 0,2\%$ .

В качестве регулируемых резисторов моста  $R_2$  и  $(R_1 + R_2)$  использовались магазины сопротивлений МСР–60М, основная погрешность которых, выраженная в процентах от значения включенного сопротивления  $R$ , равна

$$\pm \left( 0,02 + 0,02 \frac{m}{R} \right),$$

где  $m$  — число декад магазина, показания которых отличны от нуля.

Для установки сопротивлений до 1 ком участвуют пять декад магазина. В наилучшем случае из всех экспериментов, когда на магазине устанавливалось минимальное сопротивление, равное 100 ом получим:

$$\gamma_{R_2} = \gamma_{(R_1 + R_2)} = \pm 0,021\%.$$

Наибольшая погрешность резистора  $R_2$  имеется при  $R_2=1$  ом

(для образца №1); в качестве резистора применялась катушка сопротивления типа P321 (класс точности 0,01), поэтому

$$\gamma_R = \pm 0,01\%.$$

Резистор  $R_2$  и конденсатор  $C$  были подобраны с точностью  $\pm 0,1\%$ , т.е.

$$\gamma_{R_2} = \pm 0,1\%; \quad \gamma_C = 0,1\%.$$

Э. д. с. измерительной обмотки измерялась цифровым вольтметром В7-12, погрешность которого в пределах  $1 \div 10$  мВ переменного тока составляет

$$\gamma_{E_2} = \pm 1,0\%.$$

Учитывая, что погрешности  $\gamma_i$ , входящие в (5), (6) и (7), являются случайными и, как правило, некоррелированы друг с другом, они должны суммироваться по правилу некоррелированных случайных погрешностей. Таким образом, получаем:

$$\gamma'_{rR} = \pm \sqrt{(2 \cdot 0,06)^2 + (0,1)^2 + (0,2)^2 + (0,021)^2 + (0,01)^2 + (0,1)^2} = \pm 0,26\%;$$

$$\gamma'_{rX} = \pm \sqrt{(0,06)^2 + (0,1)^2 + (0,2)^2 + (0,021)^2 + (0,01)^2 + (0,1)^2} = \pm 0,253\%;$$

$$\gamma_B = \pm \sqrt{(1,0)^2 + (0,06)^2 + (0,2)^2} = \pm 1,02\%.$$

Результирующую погрешность измерения  $\varphi_R$  и  $\varphi_X$  определяем, исходя из того, что  $\gamma'_{rR}$  и  $\gamma'_{rX}$  в основном, некоррелированы с  $\gamma_B$ :

$$\gamma_{rR} = \pm \sqrt{(\gamma'_{rR})^2 + (\gamma_B)^2} = \pm 1,06\%;$$

$$\gamma_{rX} = \pm \sqrt{(\gamma'_{rX})^2 + (\gamma_B)^2} = \pm 1,05\%$$

Для диапазона индукций от 0 до  $B$ , экспериментально полученные кривые  $\varphi_R$  и  $\varphi_X$  достаточно хорошо аппроксимируются функциями:

$$\varphi_R = \frac{a_1 + a_2 B}{1 + a_3 B}; \quad \varphi_X = \frac{\sqrt{(b_1 + b_2 B)B}}{1 + b_3 B} \quad (8)$$

Подсчитанные значения коэффициентов  $a_i$  и  $b_i$  для исследованных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов аппроксимирующих функций

Материал	Пределы изменения индукции, тл	$a_1$ , м/ан	$a_2$ , 10 м/2м.тл	$a_3$ , 1/тл	$b_1$ , 10 <sup>4</sup> м <sup>2</sup> /2м <sup>2</sup> .тл	$b_2$ , 10 <sup>4</sup> м <sup>2</sup> /2м <sup>2</sup> .тл <sup>2</sup>	$b_3$ , 1/тл
Э43, толщина листа 0,35 мм	0 ÷ 0,4	2100	1378	63,3	100	330	26,7
50 НП, толщина ленты 0,05 мм	0 ÷ 0,16	662	-108	85,5	105	-356	29
	0,16 ÷ 0,9	-37	-7,5	-15	896	-442	140
79НМ, толщина ленты 0,05 мм	0 ÷ 0,18	130,5	85	83	1,45	-2,5	13,6

Сравнение рассчитанных по уравнениям (8) данных с соответствующими значениями опытных кривых показывает, что максимальная погрешность расчета не превышает:

- 1) для стали Э43 — 3% для  $\rho_x$  и 7,6% для  $\rho_R$ ;
- 2) для пермаллоя 50НП — 7,5% для  $\rho_x$  и 6% для  $\rho_R$ ;
- 3) для пермаллоя 79НМ — 5% для  $\rho_x$  и 4% для  $\rho_R$ .

Для  $\rho_2$  и  $\rho$  погрешности соответственно увеличиваются.

Ленинградский филиал ЕРНИ им. К. Маркса

Получено 11.1.1976.

Բ. Մ. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ

ՄԱԳՆԻՏՈՒՓՈՒՓՈՒԿ ԵՅՈՒԹԵՐԻ ԿՈՒՐՊԼԵՏՍ ԻՐԱԳԵՆԵՍԱԿԱՆ ԿՈՒՐԱԳՐՈՒԹՅԱՆ  
ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Կատարված է Э43 պողպատի (Քիմիկի հաստությունը՝ 0,35 մմ) և 50НП, 79НМ պերմալոյների (ժապաղենի հաստությունը՝ 0,05 մմ) մագնիսական բևեռագրերի փորձնական հետազոտությունը 50 կգ հաճախության դեպքում: Ինդուկցիաների ցածր արժեքի համար առաջարկված են կոմպլեքս մոդելիսական գիծադրության սկզբի և սեականի բաղադրիչների հաշվարկային բանաձևեր:

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шумиловский Н. П. Комплексный метод расчета магнитных цепей // «Автоматика и телемеханика», 1940, № 4.
2. Буль Б. К. Основы теории и расчета магнитных цепей. «Энергия», 1964.
3. Рашкович М. П. и др. Индуктивные преобразователи для автоматизации металло-режущих станков. «Машиностроение», 1969.
4. Заринов М. Ф., Ураксеев М. А. Определение удельного магнитного сопротивления материала магнитопровода // «Изв. вуз. приборостроение», № 12, 1974.
5. Завалин Н. А. Установка для определения магнитных свойств магнитомягких материалов Тр. ЛИАП, вып. 57, Ленинград, 1968.
6. Godec Zdenko. Allgemeine Theorie der Wechselstrommeßbrücke nach Höhle // «Arch. techn. Mess.», 1972, №435.

ЭНЕРГЕТИКА

А. А. ЭТМЕКЧЯН

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СХЕМ  
СОБСТВЕННЫХ ПУЖД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Комплексный подход к оценке эффективности технических решений с применением методов экспертных оценок позволяет по-новому решать такие задачи, как выбор структуры энергосистемы при планировании развития, определение оптимального состава энергоблоков при расширении энергообъединения, выбор главных схем электрических соединений схем собственных нужд (с. н.) электрических станций и др. [1]. В данной статье предлагается применение комплексной оценки для выбора оптимального варианта схем резервного питания с. н. энергоблоков тепловых электростанций.

По типовой схеме питания с. н., когда рабочий трансформатор подключен на ответвлении от генератора, не имеющего генераторного выключателя, резервное питание включают при следующих переходных эксплуатационных режимах блоков:

- пусках и остановках;
- простоях энергоблоков с сохранением питания группы потребителей с. н. для ревизии и опробования их;
- работе энергоблока с отключенным рабочим трансформатором с. н. ввиду повреждения последнего.

Таким образом, использование резервного питания с. н. связано как с предусмотренными — плановыми, так и с вынужденными случайными событиями.

Продолжительность работы энергоблоков в переходных эксплуатационных режимах возрастает в связи с тем, что на современном этапе развития электроэнергетики мощные конденсационные энергоблоки, спроектированные для работы в базисном режиме, привлекаются к покрытию переменной и низкой части графика нагрузки энергосистемы. Однако регулирование мощности энергосистем этим способом сопряжено с частыми пусками и остановками энергоблоков, т. е. продолжительность работы энергоблоков на резервном питании резко возрастает.

Резервное питание с. н. осуществляется разными вариантами схем, имеющими различную надежность. Схема резервного питания с. н. должна быть запроектирована так, чтобы при ограниченной (конечной) надежности ее элементов обеспечивалась оптимальная степень надежности в целом.

Оптимизация надежности с. н. может дать значительный эффект, т. е. повышение степени надежности сверх оптимальной связано с дополнительными капиталовложениями и эксплуатационными расхода-

ми, а снижение ее приведет к неоправданно большому народнохозяйственному ущербу от перерывов электроснабжения потребителей.

Для обеспечения указанной задачи рекомендуется проводить сопоставление технико-экономических показателей вариантов по [2], приняв в качестве критерия минимум приведенных затрат:

$$Z = H + P_n \cdot K_{с.п.} = \min,$$

где  $H$ —годовые издержки при данной схеме с. п.;

$P_n$ —нормативный коэффициент эффективности (0,12);

$K_{с.п.}$ —капиталовложения в схему с. п.

При выборе схем резервного питания с. п. технико-экономический анализ, выполняемый на основе сравнения величины приведенных затрат, связан с рядом трудностей:

1. Отсутствие полных и достоверных исходных данных исключает возможность точной оценки величины приведенных затрат.

2. Во многих случаях величины приведенных затрат у различных рассматриваемых вариантов с. п. настолько близки, что из-за негочности расчетов или исходных данных невозможно однозначно определить optimum.

3. Важнейшие качественные требования, такие как удобство в эксплуатации и при ремонте, обеспечение самозапуска электродвигателей, частота коммутации, условия размещения и другие, невозможно отразить в величине приведенных затрат.

4. Иерархичность характера электроэнергетических систем. Так, требования объектов высшего уровня являются законом для объектов низшего уровня, а свойства вышестоящего объекта определяются свойствами нижестоящего. К высшему уровню можно, например, отнести энергосистему, а к низшему—станции и сети. В другом случае высшим будет станция или агрегат, а низшим—возбужденно, с. п., релейная защита и т. д. Следовательно, цели функционирования и проектирования объектов низшего уровня задаются, исходя из интересов объектов более высшего уровня.

Все вышесказанное, а также рекомендации [2] проводить в пределах зоны равной экономичности выбор вариантов исходя из дополнительной оценки тех качеств схем, которые не могут быть числены в стоимостном выражении, вызывают необходимость применения комплексного подхода к оценке схем с. п. Комплексная оптимизация технических решений на основе методов экспертных оценок позволяет получить количественный показатель эффективности вариантов выполнения схем с. п., при учете всех наиболее значимых требований.

Для оптимизации вопроса выбора варианта выполнения схем питания с. п. методом экспертных оценок необходимо четко сформулировать цели, которые нужно достигнуть при принятии решения в пользу какого-либо варианта. Они могут быть связаны со следующими требованиями:

- 1) максимум надежности;
- 2) обеспечение самозапуска ответственных потребителей с. п.;

- 3) минимум ущерба от неадекватности с. н.;
- 4) минимум приведенных затрат;
- 5) максимум удобств в эксплуатации и при ремонте.

Цели, их выбора и оценка важности (весомости) цели ( $v_i$ ) решаются экспертами и зависят от уровня их знания исследуемого вопроса.

Количественные показатели первого, третьего и четвертого требований определяются с помощью соответствующими техническими расчетами, а второго и пятого — экспертным путем.

С точки зрения методики проведения опроса экспертов, в настоящее время наиболее совершенным считается метод Дельфи [3], который и принимается нами для исследования схем с. н. Характерные черты этого метода заключаются в следующем:

- ответы на поставленные вопросы обязательно должны содержать численную оценку;
- проводятся два-три тура опроса;
- после каждого тура все эксперты знакомятся с ответами других участников опроса, с обоснованиями этих ответов;
- перед началом работы экспертам дается вся необходимая информация о качественных и количественных требованиях и условиях эксплуатации.

Для определения весомостей ( $v_i$ ) требований, предъявляемых к с. н., нами использован метод Черчмена-Акоффа [4]. Суть которого заключается в предварительном ранжировании требований и определении законов неравенств требований при последовательном сравнении важности каждого требования, начиная с наиболее важного, с суммой других.

Из системы таким образом составленных неравенств определяются весомости  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Для каждого варианта схем с. н. необходимо определить оценку эффективности ( $e_{ik}$ ) по отношению к каждому требованию. Оценка  $e_{ik}$  должна отражать степень достижения данного требования при осуществлении варианта  $k$  и дается в интервале от нуля до единицы. Комплексная оценка эффективности при выбранных требованиях определится выражением:

$$B = \sum_{i=1}^n e_{ik} v_i; \quad (2)$$

оптимальный вариант схемы резервного питания с. н. принимается тот, у которого оценка общей эффективности  $B$  имеет максимальное значение.

В качестве примера использования комплексного подхода с применением методов экспертных оценок, сравним три варианта схем резервного питания с. н. энергоблоков Ереванской ТЭЦ, приведенных на рисунках 1, 2 и 3. Примем, что приглашенные эксперты, подробно ознакомившись с поставленной задачей и ее условиями, предлагают перечень

требований (критериальных свойств), который после проведения двух туров опроса ранжируется в порядке важности в такой последовательности, как было записано выше. Наиболее важным требованием к с. и. принимается их надежность, вторым по важности — обеспечение самозапуска и т. д.

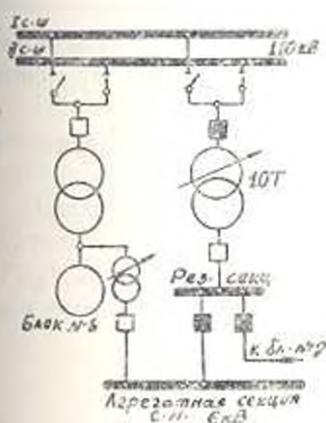


Рис. 1

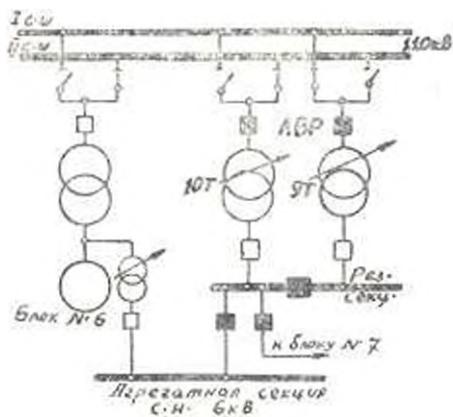


Рис. 2

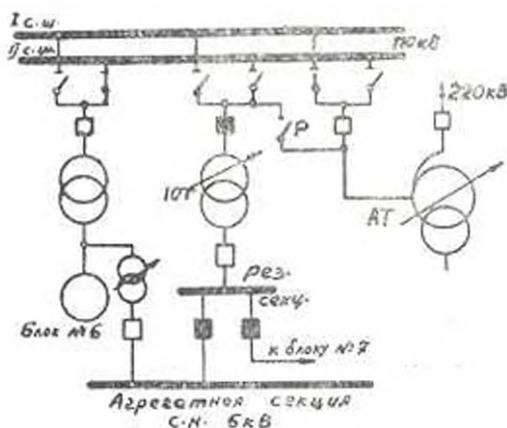


Рис. 3

Согласно изложенному, экспертами составляется ряд неравенств, решение которых совместно с уравнением

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 = 1$$

дает следующие оценки:

по максимуму надежности  $v_1 = 0,15$ ;

по обеспечению самозапуска  $v_2 = 0,21$ ;

по минимуму ущерба от недоотпуска электроэнергии  $v_3 = 0,19$ ;

по минимуму приведенных затрат  $v_4 = 0,10$ ;

по максимуму удобства в эксплуатации и при ремонте  $v_5 = 0,05$ .

Следует отметить, что специалисты, системы неравенств которых дают недопустимые расхождения со средними оценками, исключают из состава приглашенных экспертов. Однако при этом следует учесть, что число экспертов должно быть не меньше числа требований, входящих в критерий  $B$ , для достоверности их согласованности.

Для определения списков эффективности  $e_{ik}$  для первого, третьего и четвертого требований проводятся нижеследующие расчеты.

Определение надежности схем резервного питания с. и. производится методикой, использующей таблично-логический способ расчета, приняв в качестве показателей надежности:

1) вероятное среднее число аварий  $k$ -го вида, определяемое по формуле:

$$n_k = t_p \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j^i i_{ij} \quad (3)$$

2) среднее время восстановления питания секции с. и. после  $k$ -ой аварии, определяемое по формуле:

$$T_{r_{ik}} = \frac{t_p}{a_k} \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j^i i_{ij} T_{vij} \quad (4)$$

где  $t_p$  — расчетное время, которое, исходя из предполагаемого срока существования данной схемы с. и., следует принять равным пяти годам;  $q_j$  — относительная длительность каждого режима  $j$ ;  $i_{ij}$  — интенсивность отказов (повреждений)  $i$ -го элемента схемы в  $j$ -м режиме;  $T_{vij}$  — время восстановления нормальной работы при повреждении  $i$ -го элемента в  $j$ -м режиме.

Таблично-логический способ расчета позволяет учитывать конкретные режимы работы рассматриваемой схемы, нестационарность потока повреждений, отказы устройств релейной защиты и АВР, развитие аварий, плановые и аварийные ремонты оборудования рабочего и резервного питания с. и.

При выборе расчетных режимов станции следует пользоваться условием минимальности их числа  $n$ , поэтому, рассматриваются только те режимы, которые существенно отличаются от других по надежности.

Относительная длительность каждого режима определяется выражением:

$$q_j = \frac{\tau_j}{8760} \quad (5)$$

где  $\tau_j$  — длительность  $j$ -го режима в часах; определяется по средним продолжительностям плановых и аварийных ремонтов.

За расчетные события  $i=1, 2, \dots, n$  принимаются повреждения элементов схемы и отказы устройств РЗА и аппаратов, приводящие к авариям.

Сравниваемые схемы проанализированы с точки зрения вероятности появления следующих расчетных аварий:

потеря рабочего источника питания секции с. н. 6 кВ.

потеря резервного источника питания секции с. н. 6 кВ.

На основании приведенных данных для каждого варианта схемы составляются таблицы расчетных связей событий. Она представляет собой матрицу с числом элементов  $(m+1) \times n$ , в каждой клетке которой помещается номер  $k$ -ой аварии, к которой приводит отказ  $i$ -го элемента в  $j$ -м режиме. Из таблицы выписываются однообразные аварии и по формулам (3) и (4) определяются показатели надежности.

Предлагаемая методика надежности расчета позволяет определять математические ожидания указанных показателей надежности для двигателей и кратковременных погашений секции.

Среднее число аварий ( $a_k$ ), приводящих к погашению секции с. н., и среднее время восстановления питания секции с. н. после аварии ( $T_{всп}$ ) для указанных выше схем приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатель надежности	№№ схем		
	1	2	3
$a_k$	1,42	1,56	1,45
$T_{всп}$	46,6	4,0	4,18

Некоторое увеличение среднего числа аварий в схемах 2 и 3 по сравнению со схемой 1 объясняется увеличением количества оборудования на резервном питании секции с. н., а время восстановления после аварии в схеме 3 резко снижается благодаря действиям АВР.

Одинаковый порядок средних чисел аварий по вариантам подтверждает необходимость проведения оценки схем комплексным методом. Принимая в качестве критерия надежности схем питания с. н. среднее время восстановления, определяем следующие относительные оценки эффективности. Оценка  $e_{11}$  для первой схемы будет равна нулю, т. к. среднее время восстановления этой схемы имеет самое большое абсолютное значение. Оценка  $e_{13}$  для третьего варианта, имеющего наименьшее абсолютное значение, равна единице, а значение  $e_{12}$  для второго варианта, подсчитанное по формуле

$$e_{12} = \frac{T_{в1} - T_{в2}}{T_{в1} - T_{в3}} \quad (6)$$

(где  $T_{в1}$ ,  $T_{в2}$ ,  $T_{в3}$  — соответственно средние времена восстановления питания с. н.), получается равным 0,98.

Оценки  $e_{2k}$ , определяющие требование обеспечения самозануски ответственных двигателей с. н., находятся экспертным путем.

Схема, обеспечивающая самозануск во всех режимах, получит

оценку, равную единице, а схема, не обеспечивающая это требование, будет иметь оценку нуль. Что же касается варианта схемы, который может обеспечить самозапуск двигателей не во всех режимах, то его оценка, в зависимости от количества таких эксплуатационных режимов, будет между нулем и единицей. Примем, что все три рассматриваемые схемы обеспечивают самозапуск, и, поэтому,  $e_{21} = e_{22} = e_{23} = 1$ .

Абсолютные величины годового ущерба от погашения секции с. и. приводящего к недоотпуску электроэнергии блока мощностью 150 тыс. квт. для схем №№ 1, 2 и 3 соответственно составляют: 2322; 252 и 220 тыс. руб. Относительная оценка эффективности для первой схемы  $e_{31} = 0$ , т. к. ущерб наибольший, для третьей схемы  $e_{33} = 1$ , т. к. ущерб наименьший, а для второй схемы  $e_{32} = 0.98$ .

Приведенные затраты, определенные по формуле (1), составляют: для первой схемы—111 тыс. руб., для второй—115,5 тыс. руб., а для третьей—122,5 тыс. руб.

Оценка  $e_{21}$  для первой схемы равна единице, т. к. затраты на ее выполнение наименьшие. Оценка  $e_{23}$  для третьей схемы равна нулю, как для варианта, требующего наибольших капиталовложений, а оценка для второй схемы, определенная формулой, аналогичной выражению (6), получилась  $e_{22} = 0.61$ . Следует отметить, что в указанных капиталовложениях не учтены объекты, повторяющиеся в каждом варианте схем и имеющие одинаковые параметры. К таковым относятся, например, электрооборудование рабочего питания секции с. и. б кв. Кроме того, в затраты включены капиталовложения только того оборудования, которое установлено для осуществления только данной схемы.

Определение оценок  $e_{3k}$  производится экспертным путем. Необходимо ранжировать варианты схем, расположив их в порядке убывания удобств в эксплуатации и при ремонте. По-видимому такая ранжировка даст последовательность схем -3;2;1. По формуле, приведенной в [1], получаем:  $e_{33} = 1$ ,  $e_{32} = 0.62$ ,  $e_{31} = 0.33$ .

Полученные оценки важности  $v_i$  и эффективности требований  $e_{ik}$  — приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ варианта схем	Относительные оценки эффективности ( $e_{ik}$ ) при					Оценка общей эффективности $B$
	$v_1 = 0.45$	$v_2 = 0.31$	$v_3 = 0.19$	$v_4 = 0.1$	$v_5 = 0.05$	
1	0	1	0	1	0.33	0.213
2	0.98	1	0.97	0.61	0.62	0.909
3	1	1	1	0	1	0.924

Из табл. 2 видно, что оценка общей эффективности  $B$ , подсчитанная по формуле (2), имеет максимальное значение для схемы № 3, которая и является оптимальным вариантом.

Целесообразность применения метода комплексной оценки для выбора оптимального варианта схем питания с. и. подтверждается тем, что Ереванская ТЭЦ, работающая в настоящее время по схеме № 2, ведет подготовительные работы для внедрения схемы № 3. Что же касается значительного расхождения общей эффективности первого варианта от остальных, то это является закономерным, т. к. станции первые годы эксплуатировалась по схеме № 1, но, ввиду крайне низкой ее надежности, вскоре была модернизирована в схему № 2.

**Вывод.** Метод комплексной оценки эффективности решений на основе экспертного опроса может быть использован для выбора варианта схемы с. и. тепловых электростанций близкого к оптимуму.

Ереванский политехнический институт им. К. Маркса

Получено 24.II.1976.

### Ա. Ն. ԿՐԻՍՏՅԱՆ

#### ՋԵՐԵՎԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆԱԿՆԵՐԻ ՍԵՓԱԿԱՆ ԿՈՐԻՔՆԵՐԻ ԿԵՆՏՐԱԿԱՆ ԿՈՄՊԼԵԿՍ ԻՆՏԵՆՑԻՎԵ

#### Ա ռ զ յ ի ռ յ ի

Հողգտումը բազմաշաղկապ են չերմային էլեկտրակայանների սեփական կարիքների սխեմաներն ըստ չերված ծախսերի գնահատման մեթոդիկայի թերութունները: Շարադրվում է կոմպլեքս մասնցման մեթոդիկան, սպասարկչի փորձագետների գնահատականը, որը ապին է սովելի ճիշտ տրգյունրները: Իերված է նրանի չերմային էլեկտրակայանների սեփական կարիքների պահեաաաշին սնման սխեմայի համար հաշվարկի օրինակ ըստ առաջարկված մեթոդի:

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гук Ю. Б., Лосев Э. А., Муснилов А. В. Оценка надежности электроустановок. Изд-во «Энергия», М., 1974.
2. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, утвержденная Госпланом СССР, Госстроям СССР и Академией наук СССР. Изд-во «Экономика», 1969.
3. Азгальдон Г. Г., Рагтжан Э. И. Экспертные методы в оценке качества товаров. Изд-во «Экономика», 1974.
4. Бисмалева С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. Изд-во «Статистика», 1974.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

В. Н. ОВЧИЯН, М. Д. БАРСЕԳՅԱՆ,  
 А. Դ. ԵՄԱԶԱՐՅԱՆ, Շ. Բ. ՏԵՄԱՅԱՆ

ВЛИЯНИЕ КРЕМНЕЗЕМА НА КОРРОЗИЮ УГЛЕРОДИСТОЙ  
 СТАЛИ В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЩЕЛОЧНЫХ РАСТВОРАХ

В процессах комплексной переработки высококремнистых глиноземодержащих пород типа нефелиновых сиенитов [1] основной технологической средой, вызывающей коррозию оборудования, являются щелочно-кремнеземистые растворы. Их коррозионная активность почти не изучена, а имеющиеся в литературе сведения весьма противоречивы [2-5]. Нами предпринято систематическое изучение влияния на коррозионное поведение углеродистой стали в концентрированных водных растворах NaOH (2,5-10 н.л) в интервале температур 30-230 С, некоторые результаты которого приведены в настоящей заметке.

Опыты при температурах до 100 С проводили в бачках, сообщаящихся с атмосферой, при более высоких температурах — в автоклавах из стали А18Н10Т. Оценку коррозионных потерь проводили гравиметрическим способом.

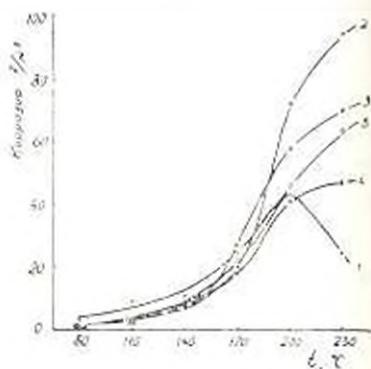
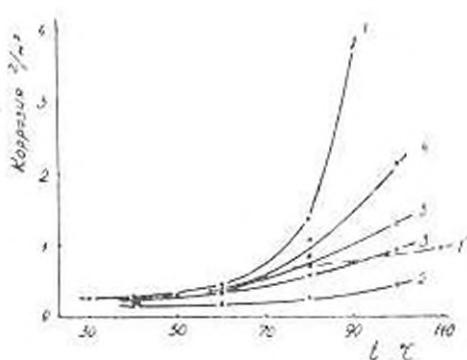


Рис. 1 Зависимость коррозии углеродистой стали от температуры в 5 н. NaOH при различном содержании  $\text{SiO}_2$  в щелочном растворе (в условиях естественной аэрации раствора): 1—0; 2—15; 3—38; 4—75; 5—100, 6—100 (в автоклаве)

Рис. 2 Зависимость коррозии углеродистой стали от температуры в 10 н. NaOH при различном содержании  $\text{SiO}_2$  (с/а): 1—0; 2—15; 3—50; 4—100; 5—150

На рис. 3 представлена температурная зависимость коррозии стали Ст. 3 и 8 н. NaOH с различным содержанием  $\text{SiO}_2$ . Особенно указанной зависимости является то, что коррозия в присутствии  $\text{SiO}_2$  меньше, чем в чистом растворе NaOH. Причем, наиболее высокая стойкость стали наблюдается при малых концентрациях  $\text{SiO}_2$ .

Увеличение коррозии с ростом содержания  $\text{SiO}_2$  наблюдается до определенной концентрации, после чего коррозионная стойкость стали несколько повышается. Небольшие концентрации  $\text{SiO}_2$  (порядка 15 г/л) при формировании поверхностной пленки внедряются в эту пленку и, как бы залечивая ее в ослабленных местах, вызывают уменьшение скорости коррозии. Повышение концентрации  $\text{SiO}_2$  до 100 г/л приводит к некоторому увеличению коррозии. По-видимому, большее содержание  $\text{SiO}_2$  в поверхностном слое приводит к образованию пленки с менее совершенной структурой. При содержании в растворе 150 г/л  $\text{SiO}_2$  поверхностная пленка на стали начинает оказывать тормозящее действие на коррозионный процесс по сравнению со случаем, когда в растворе имеется 100 г/л  $\text{SiO}_2$ . Вероятно, окисная пленка с большим содержанием  $\text{SiO}_2$  обладает меньшей электронной проводимостью, чем слой, состоящий только из  $\gamma \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Измерения электрохимических потенциалов подтверждают сказанное. В присутствии малых количеств  $\text{SiO}_2$  в 7,5 н.  $\text{NaOH}$  при 80 °C потенциал стали сдвигается в положительную сторону, по сравнению с потенциалом в чистом щелочном растворе, на 70—80 мВ. В дальнейшем, с увеличением концентрации  $\text{SiO}_2$  до 150 г/л, потенциал смещается только в отрицательную сторону, приближаясь к значениям, характерным для чисто щелочного раствора. Повышение коррозионной стойкости металла в условиях, когда потенциал его становится более отрицательным, означает, что процесс тормозится катодной реакцией ассимиляции электронов.

Из рис. 2 видно, что ингибирующие свойства  $\text{SiO}_2$  сохраняются и в условиях отсутствия поступления кислорода к раствору до 170°C, однако степень торможения заметно ниже.

Кривая коррозии в щелочном растворе без  $\text{SiO}_2$  при 200 °C имеет максимум, после чего повышение температуры приводит к снижению коррозионных потерь. Наблюдение за состоянием образцов показало, что при температурах ниже 200 °C образуются рыхлые продукты коррозии, а при более высоких температурах — плотные темные слои. Очевидно, выше 200 °C на стали в щелочах образуется уже не  $\gamma \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  [6], а более высокотемпературный окисел с иной структурой. Таким окислом может быть гематит  $\alpha \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  [7], который более устойчив, чем магнитная форма окисла железа [8]. В присутствии же  $\text{SiO}_2$  при температурах чуть выше 200°C образуются более растворимые, чем  $\alpha \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , поверхностные соединения.

Кристаллохимический и рентгенометрический анализы показали, что при наличии в щелочной среде  $\text{SiO}_2$  продукты коррозии содержат незначительное количество кристаллической фазы.

В наибольшей степени ускоряют коррозию при высоких температурах малые концентрации  $\text{SiO}_2$ . При концентрациях 50—100 г/л образуются продукты коррозии с худшей электронной проводимостью, а концентрации  $\text{SiO}_2$  150 г/л способствуют созданию пленок

менее компактных и менее совершенных с точки зрения торможения процессов ассимиляции электронов.

Из изложенного видно, что двуокись кремния в щелочном растворе принимает участие в формировании поверхностного соединения

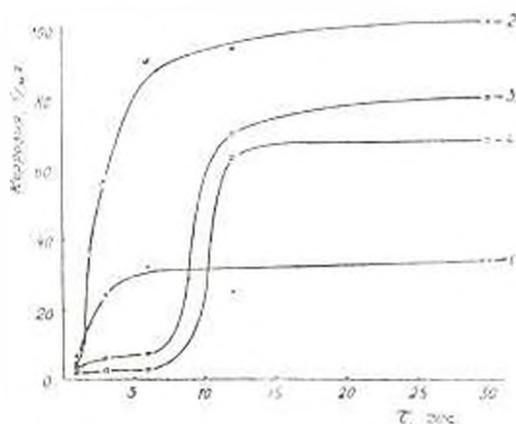


Рис. 3. Кинетика коррозии углеродистой стали в 10 н. NaOH при 200°C и зависимости от содержания  $\text{SiO}_2$  (с/л):  
1—0; 2—15; 3—50; 4—150

на стали. В этом смысле представляет интерес рис. 3. Кривая коррозия — время для стали в чистом щелочном растворе представляет собой обычную пораболообразную зависимость. Наличие  $\text{SiO}_2$  в растворе изменяет характер зависимости. В начальный период присутствие  $\text{SiO}_2$  и пленке образующегося окисла затрудняет процесс коррозии. Затем, по-видимому, по достижении определенного количественного соотношения  $\text{SiO}_2$  и продуктов окисления железа образуются более растворимые продукты коррозии.

Институт общей и неорганической химии АН АрмССР

Получено 27. I. 1976.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Манаелян М. Г. Химия и технология глинезема. Тр. Всесоюзного совещания, Ереван, 1964.
2. Дятлова В. И. Коррозионная стойкость металлов и сплавов. Справочник. Изд. «Машиностроение», М., 1964.
3. Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов. Изд. «Химия», М., 1967.
4. Коррозия и защита химической аппаратуры. Спр. руководство. Изд. «Химия», т. 6, 1972, стр. 64.
5. Роминин В. В. Коррозионные растрескивания металлов. Металлургия, М., 1960.
6. Maule, J. Pryor M. J. Chem. Soc., 1831 (1949).
7. Ванюкова Т. В., Кобяков В. И. «Журн. физ. химии», 28, вып. 6, 1025 (1954).
8. Улиг Г. И. Коррозия металлов. Изд. «Металлургия», М., 1968.

УДК 621.828.517.5

— К теории синтеза плоских шарнирных механизмов методом квадратического приближения функций. Саркисян Ю. Л. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 3—4.

В статье представлено новое решение задачи об определении точек плоской фигуры с траекториями, приближающимися к дуге окружности в смысле наименьших квадратов. Установлена взаимосвязь между известной теорией алгебраического синтеза рычажных механизмов и обобщенной кинематической геометрией, развиваемой в продолжение работ автора.

Илл. 1. Библ. 2 назв.

УДК 621.78 : 669.14 : 539.4

Оценка эффекта упрочнения термобрабатываемых сталей. Олейник Н. В., Стахан М. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 10—17.

Произведена количественная оценка эффекта упрочнения сталейных термообрабатываемых образцов, испытанных при переменном и вибрационном напряжении. Определены вероятностные значения коэффициента упрочнения  $\beta_2$  при нормализации, улучшения и закалке.

Рассмотрены особенности изменения  $\beta_2$  в областях ограниченной и длительной выносливости. Изучено влияние на  $\beta_2$  режима нагружения, материала, размеров и форм образцов.

Показано, что зависимость  $\beta_2 = f(HRC)$  прямолинейная и существует достаточно высокая корреляционная связь между  $\beta_2$  и HRC. Определены параметры уравнений  $\beta_2 = f(HRC)$ , позволяющие рассчитать значения  $\beta_2$  по минимальному объему испытаний отожженных образцов.

Илл. 3. Табл. 1. Библ. 3 назв.

УДК 62—585.9

К синтезу регулируемых передаточных механизмов. Станянян К. Г., Зазян Ф. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 18—22.

В статье предлагается метод синтеза регулируемых передаточных механизмов, которые при простых переключениях регулирующего звена воспроизводят заданные функции  $z_i(x)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). Показывается, что синтез указанных механизмов можно привести к синтезу механизмов с двумя степенями свободы.

Илл. 1. Табл. 1. Библ. 3 назв.

УДК 621.914.32—868

Спектральный анализ неравномерности движения узла подачи станка. Сааян Г. В. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 23—29.

Приведено описание установки для анализа неравномерности движения узла подачи вертикально-фрезерного станка при холостом ходе. Приведены особенности применения спектрального анализа для изучения сигнала виброскорости поступательно движущегося поперца станка.

Илл. 3. Библ. 8 назв.

УДК 621.9.014

Связь между относительным давлен, угловой стружки и углом текстуры. Саркисян А. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 30—33.

Предлагаются новые зависимости для определения величины степени деформации и угла текстуры в зоне резания, которые выведены без использования схемы деформации простого сдвига. На основе экспериментальных данных показано, что приведенные зависимости дают качественное правильное представление об этих величинах в зоне резания.

Илл. 1. Табл. 1. Библ. 4 назв.

УДК 621.1.016.1+62—50

*Двухпозиционный квази непрерывный регулятор температуры на операционном усилителе* Хаджалян Ю. М., Саркисян Р. А., Наринян К. А. Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 44—48

В статье рассмотрена работа двухпозиционного малогабаритного регулятора температуры на операционном усилителе, снабженного простейшей корректирующей цепью RC.

Выведены расчетные соотношения для времен включения и выключения, дан анализ параметров регулятора.

Установлена связь с термодинамическими параметрами объекта регулирования.

Илл. 4. Библ. 5 назв.

УДК 621.374

*А расчету коэффициента магнитного сопротивления магнитомягких материалов* Мамиконян Б. М. Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 41—49

Приведено экспериментальное исследование магнитных характеристик стали 343 (толщина листа 0,35 мм) и пермаллоев 50НН, 79 НМ (толщина ленты 0,05 мм) на частоте 50 гц. Предложены формулы для аналитического расчета удельных активной и реактивной составляющих комплексного магнитного сопротивления для линейной области индукций.

Илл. 5. Табл. 1. Библ. 6 назв.

УДК 621.311.019.3

*Комплексный подход к оценке схем собственных нужд тепловых электростанций* Эмелян А. А. Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 50—57

Приводятся недостатки способа оценки схем собственных нужд (с. и л) тепловых электростанций по приведенным затратам. Излагается метод комплексного подхода с использованием экспертных оценок, дающий более правдивые результаты. Приводится пример расчета по этому методу для схем резервного питания с. и. Ереванской ГЭЦ.

Илл. 3. Табл. 2. Библ. 4 назв.

УДК 620.193.42+669.11.620.197

*Влияние кремнезема на коррозию углеродистой стали и концентрирование щелочных растворов* Овчян В. Н., Барсегиан М. Д., Егнязарян А. Г., Степанян Ц. Р. Известия АН АрмССР (серия Т. II)», т. XXIX, № 6, 1976, 58—60

Изложены результаты систематического изучения влияния добавок кремнезема (концентрации 15 : 150 г/л) в 2,5 : 10 н водном растворе NaOH на коррозию углеродистой стали при температурах 30 : 230 °С. Показано, что при низких температурах SiO<sub>2</sub> оказывает ингибирующее действие, а при температурах выше 170 °С—стимулирует коррозионный процесс, что объясняется изменением характера и защитных свойств продуктов коррозии на стал.

Илл. 3. Библ. 8 назв.

Բ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ի Ի Թ Յ Ի Ի Ն

«ՀՄԽՀ Գեղեցիկագիր (անվանական) գիտությունների սերիա») ամսագրի 29-րդ հատորի

ՈՅԸՄ ժողովրդական տնտեսության զարգացման տասնհետուղ հեղափոխական պլանի շեմին 1—8

Ի Ե Լ Ե ա շ ի ն ու ը յ ու ն

Ա. Ա. Ալեքսանյան, Ներկայացված կենտրոնական օգտակարիչի աշխատանքների քննարկում	1—10
Զ. Թ. Բաղդասարյան, Զ. Զ. Գևորգյան, Տարեկի օպտիմալ դեֆորմացիայի ստացման պայմանները մետաղը ափսոսալից զննելու մշակելիս	3—23
Մ. Ա. Եսայան, Ա. Վ. Ենթանյան, Կ. Ս. Խաչատրյան, Հաստացների պոլիկոնային հարյուրամյակի շուրջը	5—3
Ա. Վ. Խեչումյան, Հաստացի իրանի շակոյացի թրթռուստություն	3—15
Ո. Վ. Համբարձումյան, Պարբերական միակողմ շրջանի բնագրային սենտեթիկ նախագծում	4—17
Ի. Ա. Հունանյան, Ուղղանկյուն հատվածով ուղի ստանդարտ մասնակի գլանաձև ձուլումը բարձր շերտային դաշտում	4—23
Լ. Բ. Սիրտոյան, Խոտալժուր-հալոստալային շարժման կոյնտա-կայունությունն սինտետիկ սինթեզի շուրջը	5—12
Գ. Վ. Սահակյան, Հաստացի մատուցման հանդուցի շարժման անհամապատասխանության սպիտակուլի զերծումը	6—23
Ա. Գ. Խաչոյան, Հարսերահանի սուրճի, սաշելի կեղծման ներստորային անոթային միջև գոյություն ունեցող կապը	9—30
Յու. Լ. Խաչոյան, Հարթ լծակային մեխանիզմների բառակազմային մոտարկման մեթոդով սինթեզի տեսության վերաբերյալ	6—3
Կ. Գ. Խոսեֆանյան, Յ. Ս. Ջալալյան, Կարգավորող փոխանցիչ մեխանիզմների սինթեզի վերաբերյալ	6—18
Ն. Վ. Օլեյնիկ, Վ. Վ. Բեզեր, Ի. Գ. Խաչոյան, Ս. Զ. Գալստյան, Հերմամշակված պողպատների դիմադրունակության բնութագրերի գնահատումը	1—10
Ն. Վ. Օլեյնիկ, Վ. Վ. Բեզեր, Ի. Գ. Խաչոյան, Հերմամշակված պողպատների ամրացման էֆեկտի հետադասումը	2—26
Ն. Վ. Օլեյնիկ, Վ. Վ. Բեզեր, Ի. Գ. Խաչոյան, Հերմամշակված պողպատների ամրացման էֆեկտի գնահատումը	6—10

Ի Ե Լ Ե գ և ա ի կ ա

Զ. Տ. Աղաբեց, Էլեկտրական համակարգի փոխարինման սխեմայի վերաբերյալ ինֆորմացիայի վերափոխման խնդիրը	1—3
Զ. Տ. Աղաբեց, Ս. Գ. Հաբալյան, Բացասական ուղիղի դիմադրություններով երկաթահան ձյուղեր պարունակող էլեկտրական համակարգի հաստատված սենթիկ հաշվարկի մեթոդիկայի շուրջը	2—3
Զ. Տ. Աղաբեց, Ս. Ի. Կարբիլյան, Բխանայի համարվարագրման մասնակ նրա հաստացների օպտիմալ վերահամարակալման ալգորիթմ	3—3
Թ. Պ. Ասատրյան, Գ. Գ. Համբարձումյան, Միասնական հոսանքային հոսանքային կոնվերտիչ	2—10
Ա. Զ. Էրմեկյան, Հերմանի էլեկտրականության սինթեզի կարգիչների գնահատման կոմպլեքս մոտեցումը	6—30



Յ Ա. Անանյան, Բնահողային լուծույթի և պետական հանրացման փոփոխությունը կապիտալ լիազույնների մասանակ	1—13
Է Պ. Արիլյանց, Հասարակ աճը և անընդհատությունը իրական հիշատակի կապիտալ փորձարարական ուսումնասիրություն	5—31
Վ Ա. Կալիբան, Վ. Շ. Այնչուկ, Ի. Վ. Մելիքյան, Կ. Բ. Համալայան, Արդարացիության հարցի վերաբերյալ հասարակական կարծիքի պատկերացումը և կրթության հարցի վերաբերյալ պայմաններում	3—36
Վ Խ. Հովսեփյան, Առաձգական հիշատակի կապիտալի զեմլեկները հասարակական մտային լուծումը մեկուսի	1—37
Ս Մ. Կալաբյան, Արևելյան ջրատար և ռազմատար անցումը և ջրի մեջ ստորերկրյա ջրերի ներսաման շարժի շարժը	2—35

Երևանի քաղաքի և շրջանային կոնսուլայտներ

Վ Մ. Գալստյան, Առաձգական հիշատակի վրա կրված աստիճանային կրկնաբանությունը և նրա մասին հարցերը	4—37
Ս Մ. Կալիբան, Գ. Կարսյանի լուծումը և 1:50 մասշտաբի մոդելի դիտարկումը և ռեկոնստրուկցիայի փորձարարական նկատագրությունների արդյունքները	7—32

Սեռային կապիտալի և կոնսուլայտներ

Վ Մ. Սահակյան, Ի. Բ. Մեդյան, Կոնսուլայտի փոփոխության մեթոդների կիրառումը ֆրանսիական արդյունաբերական պրոցեսի և ստացումի մասանակ	4—31
Վ Ս. Վանուկ, Յ. Բ. Արիլյան, Ս. Բ. Տրիֆոնով, Լ. Կ. Տրիֆոնով, Միջուկային ռադիոակտիվությունը և ռադիոակտիվության պրոցեսում ինտերակցիայի և ռադիոակտիվության փոփոխությունների կիրառումը և ռեկոնստրուկցիայի փորձարարական նկատագրությունների արդյունքները	4—3

Ի տ ա կ ա ն Ե ո թ Ի Ե

Վ Մ. Առաքելյան, Տարածականության և նրա կապիտալի դիտարկումը և նրա կիրառումը	1—62
Ս Մ. Կարսյան, Հիշատակի մասին կապիտալի և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	3—62
Վ Ա. Կալիբան, Կ. Վ. Այնչուկ, Առաձգականության և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	3—50
Վ Վ. Կալիբան, Առաձգականության և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	3—55
Ս Ս. Սահակյան, Երևանի քաղաքի և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	2—59
Ս Ս. Սահակյան, Երևանի քաղաքի և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	3—63
Վ Ս. Արիլյան, Կ. Վ. Այնչուկ, Առաձգականության և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	1—59
Ս Ս. Արիլյան, Ա. Վ. Այնչուկ, Առաձգականության և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	3—55
Վ Ս. Արիլյան, Ս. Մ. Կարսյան, Ա. Վ. Այնչուկ, Առաձգականության և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	6—58
Վ Ս. Արիլյան, Լ. Մ. Այնչուկ, Առաձգականության և նրա կիրառումը և նրա կիրառումը	5—52

## СОДЕРЖАНИЕ

XXIX тома журнала «Известия АН АрмССР  
(серия технических наук)»

*На пороге столетия пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР* 1—3

### Машиностроение

- А. А. *Александрян*. Способ учета изменений, вносимых неупругими массами в расчет аэродинамической характеристики встроенного центробежного вентилятора 4—10
- В. В. *Айвазян*. Проектирование кулачкового механизма периодического одностороннего поворота 4—17
- Г. Б. *Абагарян*, А. О. *Гуворьян*. Оптимальные условия деформации стружки при обработке на автоматических станках 3—23
- М. А. *Есаян*, А. В. *Хечумян*, Г. С. *Мартиросян*. К вопросу стабилизации качества станков 5—3
- Л. Б. *Мкртчян*. К синтезу кулачкового механизма приближенно-равномерного движения 5—12
- Н. В. *Олейник*, В. В. *Безер*, М. Г. *Стакян*, С. А. *Гаспарян*. Оценка характеристик выносливости термообработанных сталей 1—10
- Н. В. *Олейник*, В. В. *Безер*, М. Г. *Стакян*. Исследование эффекта упрочнения термообработанных сталей 2—26
- Н. В. *Олейник*, М. Г. *Стакян*. Оценка эффекта упрочнения термообработанных сталей 6—10
- Г. В. *Саякян*. Спектральный анализ неравномерности движения узла подачи станка 6—23
- А. Г. *Саркисян*. Связь между относительным едингом, усладкой стружки и углом текстуры 6—30
- Ю. Л. *Саркисян*. К теории синтеза плоских шарнирных механизмов методом квадратического приближения функций 6—3
- К. Г. *Степанян*, Ф. С. *Заян*. К теории регулируемых передаточных механизмов 6—18
- Р. А. *Унян*. Цилиндрический шпindel прямоугольной вязкой упругой пластины при высоких температурах 4—23
- А. В. *Хечумян*. Вибрационный контроль шпиндельного узла станка 3—16

### Энергетика

- Г. Т. *Абонц*. Задача преобразования информации о схеме замещения электрической системы 1—5
- Г. Т. *Абонц*, С. Г. *Арутюнян*. К методике расчета установившегося режима электрической системы, содержащей продольные ветви с отрицательными реактивными сопротивлениями 2—3
- Г. Т. *Абонц*, Р. М. *Габриелян*. Алгоритм переenumerации узлов схемы при ее эквивалентировании 3—3
- А. А. *Арутюнян*. Определение структуры эквивалентного многополюсника и пересчет матриц узловых проводимостей при изменении в исходной схеме 3—9

<i>А. А. Арутюнян, В. Г. Погосов, И. А. Карапетян.</i> Исследование влияния параметров трехфазного трансформатора на сложность итерационного режима энергетических систем	5—45
<i>Г. П. Асатрян, Г. Г. Амбарцумян.</i> Синусно-косинусная функциональная преобразователь	2—10
<i>М. С. Мкртчян.</i> Приближенное графическое изображение нагрузки энергосистемы методом весовых коэффициентов	2—17
<i>И. А. Оксунян.</i> Выбор переменного значения коэффициента затухания в расчетах установившегося режима энергосистемы	1—64
<i>А. А. Этмекчян.</i> Комплексный подход к оценке собственных нужд тепловых электростанций	6—50

### Электротехника

<i>В. С. Вирпетян.</i> К исследованию электрооборудования электроподвижных установок, питающихся от аккумуляторных батарей	2—43
<i>Б. М. Мамиконян.</i> К расчету комплексного магнитного сопротивления магнитомягких материалов	6—41
<i>Л. О. Оганян, К. А. Хорьков, Г. А. Ситийлян.</i> К расчету индуктивности рассеяния лобовых частей однофазного ударного генератора	2—51
<i>А. А. Торунян, А. И. Цатурян.</i> О движении диэлектрического сыпучего материала в электрическом поле коронного разряда	3—46

### Электронная техника

<i>В. Е. Арустамян.</i> Многоколлекторная планшечная транзисторная структура	1—31
<i>В. Е. Арустамян.</i> К нелинейной теории многоколлекторных транзисторов	1—45
<i>К. А. Гулгасарян.</i> Оптический координатор цели	4—55
<i>Ю. М. Ходжазян, Р. А. Саркисян, К. А. Наринян.</i> Двухпозиционный квази-непрерывный регулятор температуры на операционном усилителе	6—34

### Вычислительная техника

<i>С. Н. Манукян, Э. И. Манукян, В. М. Писаренко.</i> Метод построения оптимальных последовательных планов регрессионных экспериментов со свойствами E-оптимальности	3—32
<i>С. О. Мкртчян, В. И. Газиян, Г. С. Гаспарян.</i> Синтез оптимального П-регулятора	5—20
<i>Р. С. Рафаян, А. М. Мирзоян, Г. Л. Кантарджян.</i> К вопросу оптимизации величинных инерционных объектов первого порядка	5—16
<i>И. Е. Сарифян, М. И. Авакян.</i> Задачи управления для систем конечных автоматов	3—40

### Измерительная техника

<i>В. О. Вануши, Я. И. Николайчик, С. Д. Трифонова, Л. Д. Трифонова, Ф. И. Черярия.</i> Измерение концентрации пропиточных растворов фотометрическим методом	5—25
<i>К. М. Мелконян.</i> Увеличение точности слежения системы управления куполом телескопа АТЗ-26 и применением автоматического моста переменного тока в системе точного отсчета	1—24
<i>А. А. Оганесян, Н. Н. Пашишчи.</i> Контурный индуктивный преобразователь перемещений	4—50
<i>А. С. Шахкян, А. О. Гаспарян, С. С. Шахкян.</i> Определение параметров входной цепи измерительного преобразователя	1—18

- С. А. Ачакин. Изменение минерализации почвенного раствора и грунтовых вод при капитальных промывках 1—43
- Э. И. Ацимов. Эмпирические данные исследования гидравлического удара с разрывом сплошности потока 5—31
- Г. А. Давтян, В. Г. Дачишвиль, Р. В. Григорян, М. Г. Алабян. Скорость нарастания песчаножиливания некоторых промышленных зернистых материалов в реальных условиях 5—36
- Ж. М. Каварян. К вопросу притока подъемных вод в водоизборным скважинам, расположенным в двухслойных водоносных толщах 2—35
- К. Х. Овсепян. Метод приближенного решения дифференциального уравнения упругого гидравлического удара 1—37

Строительная механика и строительные конструкции

- Л. М. Гайтман. Расчет на изгиб упруго-пластичей железобетонной плиты на упруго-пластичем основании 4—37
- С. Г. Шагинян. Результаты экспериментальных исследований динамических характеристик модели 9-этажного жилого дома в масштабе 1:50 1—52

Материаловедение, металлургия

- В. О. Вацурин, Я. П. Николаевич, С. Д. Трифонов, Л. Д. Трифоновна. К вопросу о согласовании спектральных характеристик инфракрасных излучателей со спектрами поглощения стеклопластиков и технологическом процессе сушки однонаправленной стеклоленты 1—3
- В. М. Савадло, М. Е. Геворкян. Применение методов корреляционного анализа при исследовании промышленного процесса флотации 4—31

Научные заметки

- С. Г. Аракелян. К вопросу динамического поведения стержня с учетом внешних форм колебаний 1—62
- Р. М. Гайриджян. К учету комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов и инверторов для расчетов усложнившихся режимов электрических систем 3—67
- Э. А. Аветисян, М. В. Саятрян. Исследование возможности оценки качества зубчатых колес по общему уровню шума 5—50
- Левогук Тиа. О транспортнопроницаемости циркуляционного потока на повороте водовода 2—59
- Левогук Тиа. Расчет устойчивости формы поперечного профиля русла реки на его повороте 3—63
- Д. С. Мельникян, Д. С. Ростамян. Об экспериментальном определении характеристик переходного процесса, наблюдаемого и присутствия шумов 1—59
- Р. М. Мирзалимян, Н. Х. Давишян. Неоднородное поршневое песчаножиление твердых чистых газов 3—55
- В. И. Овчинин, М. Л. Борсегян, А. Г. Егизарян, Ц. Р. Степанян. Влияние кривизны на коррозию углеродистой стали в концентрированных щелочных растворах 6—58
- Г. С. Ордян, Э. О. Жамгарян. Ввод информации с перфокарт в ЭВМ «Урал-14» 5—53
- В. О. Тильдамян. К гидравлическому расчету плавных перепадов открытых русел 3—58

Ր Ո Վ Ա Ն Գ Ո Ւ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Մ Լ Ի Լ Ե ա յ ի ն ո ղ ո ՞ ճ

Յու. Լ. Սարգսյան, Հարթ յձակային մեխանիզմների բառակուսային մասարկման միջոցով սինթեզի տեսության վերաբերյալ	3
Ե. Վ. Սյեյնիկ, Մ. Գ. Ստակյան, Զերմամշակված սյուզայտների ամլադման էֆեկտի գնահատումը	10
Կ. Գ. Ստեփանյան, Գ. Ս. Պազյան, Կարգավորող փոխանցիչ մեխանիզմների տիեթեզի վերաբերյալ	15
Գ. Վ. Սահակյան, Հաստօցի մատուցման նանդուլցի շարժման անհամարաչափության սպեկտրային վերլուծություն	23
Ա. Գ. Սարգսյան, Հարարերական սալի, սաշեղի կծկման և տերատորաչի անկան միջև գոյություն ունեցող կապը	30

Է լ է կ տ ր ո ե ա լ ի ն տ է լ ս ն ի կ ա

Յու. Մ. Խոչայանց, Ս. Ս. Սարգսյան, Կ. Ս. Նարիկյան, Սպերագիտն ու ժնդագուցիչով չհրմաստեճանե կրկիբրբային յվապիանընդհատ կարգավորիչ	34
---	----

Է լ է կ տ ր ա տ է լ ս ն ի կ ա

Ս. Ս. Սամիկոյան, Սյազնիսպափափուկ նյութերի կամայինքս մազնիթական դիմադրության հանվարկի վերաբերյալ	41
---	----

Է ն ե ր գ ի տ ի կ ա

Ա. Հ. Էյմենյան, Զերմային էլեկտրականությանը սեփական հարիբերի գնահատման կամայինքս մատուցումը	50
--	----

Գ ի տ ա կ ա Է ն ո ՞ ճ Ե

Վ. Ն. Օվչինյան, Մ. Ջ. Խոսեղյան, Ա. Հ. Նյխագարյան, Յ. Մ. Ստեփանյան, Ախրկա՛ողի ազդեցությունը Երև շիմուային լուծույթներում ածխածնային սյուզայտների կոոդիային վրա	55
29-րդ հասարի բովանդակությունը	61

## СОДЕРЖАНИЕ

### Машиностроение

- И. Л. Саркисян* К теории синтеза плоских ширинных механизмов методом квадратического приближения функций 3
- И. В. Овчиник, М. Г. Сидяк* Оценка эффекта упрочнения термообработанных сталей 10
- А. Г. Степанян, Ф. С. Зазы* К теории регулируемых передаточных механизмов 18
- Г. В. Сидяк* Спектральный анализ неравномерности движения хвоста подачи станка 23
- А. Г. Саркисян* Связь между относительным размером, длиной стружки и углом текстуры 30

### Электронная техника

- Ю. М. Антомина, Р. А. Саркисян, К. Я. Наринян* Двухпозиционный квадрупольный регулятор температуры на операционном усилителе 31

### Электротехника

- Б. М. Мамиконян* К расчету комплексного магнитного сопротивления валин тонких материалов 41

### Энергетика

- А. А. Этмекчян* Комплексный подход к оценке собственных нужд тепловых электростанций 50

### Научные заметки

- В. И. Овчиник, М. Л. Барсегян, А. Г. Егжазирян, Ц. Р. Степанян* Влияние кремнезема на карбонизацию углеродистой стали в концентрированных щелочных растворах 58

Содержание XXIX тома

