

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

իշխանութիւնը

издается с 1947 г.

Կ Ր Ա Դ Ր Ա Կ Ա Ն Կ Ո Ւ Ն Ի Մ

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսեևսկի Վ. Վ. Անանյան Ա. Կ., Գորոյան Տ. Ա., Զաղոյան Մ. Ա., Նազա-
րով Ա. Գ., Տեր-Ազարե Ի. Ա., Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)
Պատասխանատու քարտուղար Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Агоян Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Анаanian А. К., Гороян Т. А., Зайоян М. А., На-
заров А. Г., Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Тер-Азарьев И. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

Խմբագրութեան հասցեն՝ Երևան-19, Բարեկամության փող. 24

Адрес редакции: Ереван-19, ул. Барекачутян, 24г.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, Г. Б. БАГДАСАРЯН, Н. Г. МОВСИСЯН

ФОРМА СТРУЖКИ КАК КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦА ПРИ
ТОЧЕНИИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

При разработке технологического процесса обработки цветных пластических материалов резанием на автоматических линиях вопрос режущего инструмента, а также форма стружки является одним из основных и решающих аргументов повышения производительности труда и улучшения качества продукции. Оптимизация геометрии резца способствует снижению себестоимости, а также повышает стойкость и долговечность инструмента. С этими факторами связан ряд технологических показателей: качество поверхности, износ резца, виброустойчивость системы СПИД и т. д.

Оптимальные геометрические параметры резцов до сих пор определялись, исходя из силы резания или шероховатости поверхности [1] с использованием математической модели обрабатываемости в зависимости от элементов геометрии в обычном виде:

$$R_t = C_1 \gamma^{\alpha_1} \varphi^{\alpha_2} \lambda^{\alpha_3} r^{\alpha_4}, \quad (1)$$

где R_t — объект исследования; C_1 — свойства обрабатываемого металла; γ — передний угол; φ — главный угол в плане; λ — угол наклона; r — радиус закругления вершины резца.

В качестве модели процесса было принято уравнение регрессии полиномов первой степени с взаимодействием факторов:

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + \\ & + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + b_{123} X_1 X_2 X_3 + b_{234} X_2 X_3 X_4 + \\ & + b_{124} X_1 X_2 X_4 + b_{134} X_1 X_3 X_4 + b_{1234} X_1 X_2 X_3 X_4, \end{aligned}$$

где $b_0, \dots, b_{1234}$ — коэффициенты регрессии;

X_1, X_2, X_3, X_4 — исследуемые факторы $\gamma, \varphi, \lambda, r$.

Нами сделана попытка оптимизировать геометрические параметры инструмента по форме стружки при точении цветных пластичных металлов, имеющих различные физико-механические свойства (латунь ЛС59, дюраль Д16). Опыты проводились при точении цветных металлов резцами, оснащенными пластинками ВК8, по режимам

резания, предложенным авторами работы [2]. В качестве критерия количественной оценки формы стружки, в отличие от работы [3], принят радиус скрутки стружки D .

На основе принципа планирования эксперимента типа 2^4 проведены эксперименты при переменных значениях геометрических параметров резца, но при постоянных элементах режимного поля ($V = 150 \div 220$ м/мин, $s = 0,07$ мм/об, $t = 0,25 \div 1,0$ мм).

Чтобы осуществить экспериментальное исследование при принятых условиях, необходимо было оценить геометрические параметры на двух уровнях [4]. Одной из возможных схем линейного оператора может быть та, при которой смешиваются взаимодействия параметров γ , φ , λ , r , т. е.

$$L = X_1 + X_2 + X_3 + X_4. \quad (2)$$

Такое смешивание характерно тем, что образуются два блока:

$L = 0$: Блок I — (1), $\gamma\varphi$, φr , γr , $\gamma\varphi\lambda r$, $r\lambda$, $\gamma\lambda$, $\varphi\lambda$;

$L = 1$: Блок II — γ , φ , $\gamma\gamma r$, $\varphi\varphi\lambda$, λ , $\gamma\varphi\lambda$, r , $\gamma r\lambda$.

Реализуя лишь один из них ($L = 1$), можно получить восемь условий экспериментов, в которых участвуют все геометрические параметры. Уровни этих параметров выбираются согласно [4].

План проведения экспериментов приведен в табл. 1. Согласно этому плану проводились эксперименты (причем каждый повторялся дважды) и измерялся диаметр скрутки стружки.

Таблица 1

№№ эксп.	Геометрические параметры резца				Объект исследования D			
	γ_1	φ_1	λ_1	r	Натунь ЛС59		Дюраль Д16	
1	100	30	100	0,1	10	рис. 1, а	4	рис. 2, а
2	100	75	100	0,1	—	рис. 1, б	8	рис. 2, б
3	80	75	100	0,5	15	рис. 1, в	5	рис. 2, в
4	80	30	100	0,5	45	рис. 1, г	11	рис. 2, г
5	80	75	80	0,5	15	рис. 1, д	6	рис. 2, д
6	100	30	80	0,5	22	рис. 1, е	11	рис. 2, е
7	80	30	80	0,1	5	рис. 1, ж	20	рис. 2, ж
8	100	75	80	0,1	30	рис. 1, з	13	рис. 2, з

Одновременно, для получения более достоверных результатов, фотографировалась форма стружки (рис. 1 и 2).

После математической обработки данных, полученных при эксперименте, с учетом замесы кодированных переменных величины натуральными факторами (табл. 1) приходим к уравнению (1) в окончательном виде (табл. 2).



Рис. 1. Формы стружек (материал — лагун. IC59).

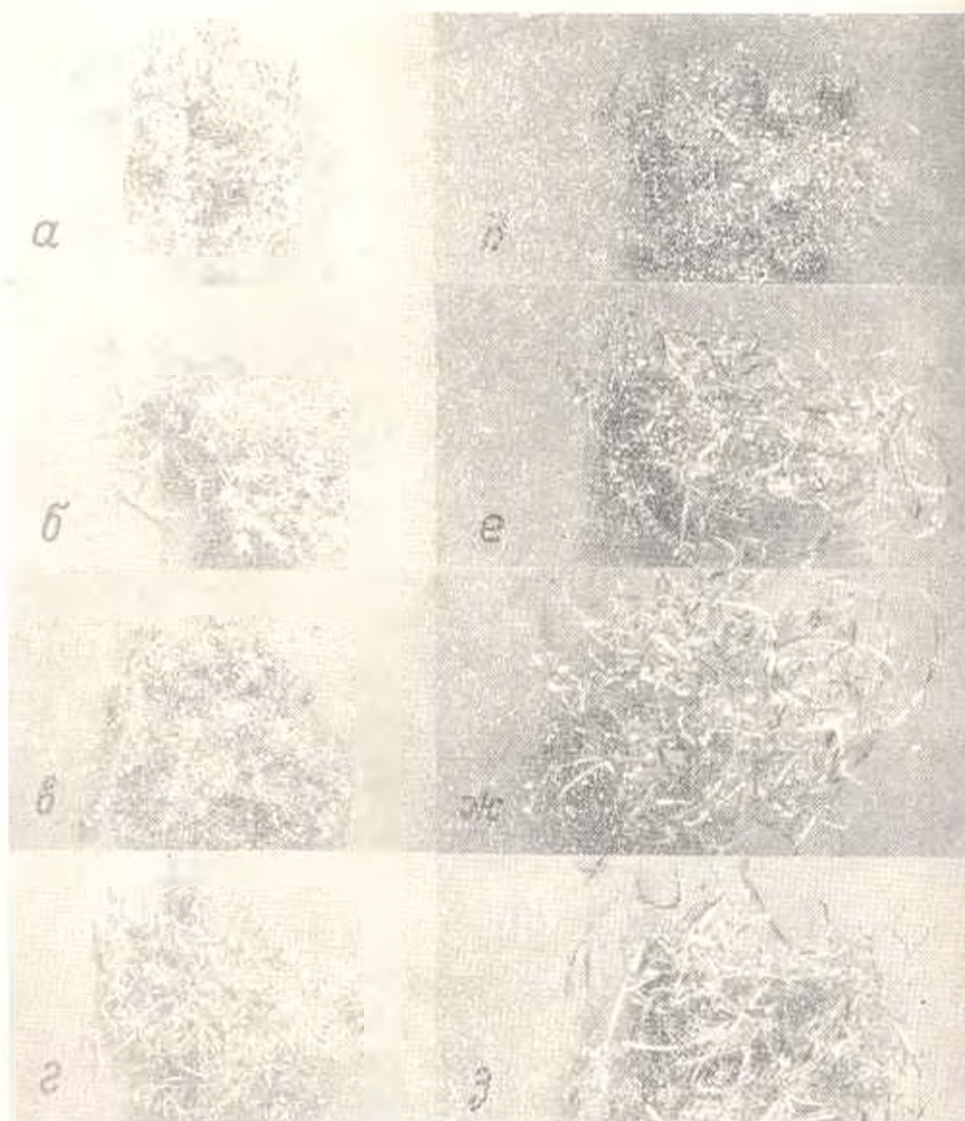


Рис. 4. Формы стружек (материал — береза ДВ).

Таблица 2

Материал	C_f	z_1	z_2	z_3	z_4
Латунь ЛС59	38,2	0,21	0,58	0,51	0,28
Дюраль Д16	13,5	0,19	0,61	0,55	0,30

Чтобы убедиться в достоверности табл. 2 произведена проверка гипотезы влияния геометрических параметров резца на радиус скрутки стружки методом дисперсионного анализа (метод Йетса). Анализ проведен только для материала дюраль Д16, предварительно закодируя и вычтя 10 из каждого показания (при этом F -статистики не меняются).

Таблица 3

Варианты испытания	Отклики	Формы откликов				$SS = \frac{(\text{контраст})^2}{2^n r}$
		(1)	(2)	(3)	(4) контраст	
γ	-6	-8	-12	-2	6	1,14
φ	-2	-4	10	8	10	3,14
$\gamma\varphi$	-5	-3	10	20	10	3,14
r	1	13	-2	-10	-2	0,125
$\varphi\lambda$	-4	4	4	22	10	3,14
$\gamma r \lambda$	1	6	16	-12	-30	23,1
λ	10	5	2	12	-34	36
$\gamma\varphi\lambda$	3	-7	-12	-14	-26	21,1

В табл. 4 представлены результаты дисперсионного анализа данного факторного эксперимента.

Таблица 4

Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Проверка гипотез H_i
γ	1	1,14	1,14	$H_1: \gamma = 0$ $F_{1,11} = \frac{1,14}{3,03} = 0,38$
φ	1	3,14	3,14	$H_2: \varphi = 0$ $F_{1,11} = \frac{3,14}{3,03} = 1,05$
r	1	0,125	0,125	$H_3: r = 0$ $F_{1,11} = \frac{0,125}{3,03} = 0,07$
λ	1	36	36	
Межблочный эффект $\gamma r \lambda, \gamma \varphi \lambda$	3	31,24	10,4	$H_4: \lambda = 0$ $F_{1,11} = \frac{36}{3,03} \approx 12$
Ошибка $\gamma\varphi r, \varphi r \lambda$	8	24,24	3,03	
Итого	15			

Таким образом, вычисление F -статистики подтверждает, что параметры φ и λ оказывают существенное влияние на величину D , а γ и l влияюг на D незначительно.

После анализа процесс оптимизируется по методу [1], согласно которому уравнение (1) превращается в ряды с неопределенными коэффициентами и, после двукратного дифференцирования, определяются оптимальные значения геометрических параметров реза (табл. 5).

Таблица 5
Оптимальные геометрические параметры реза

Материал	$\gamma_{\text{опт}}$	$\varphi_{\text{опт}}$	$\lambda_{\text{опт}}$	$l_{\text{опт}}$
Дюраль Д16	10°	75°	-10°	0,5
Латунь ЛС59	10°	60°	$+10^\circ$	0,1

Полученные расчетные значения оптимальных геометрических параметров реза проверялись экспериментально. С этой целью проводились опыты по определению шероховатости в зависимости от параметров γ , λ , φ и l согласно плану, приведенному в табл. 1. После математической обработки данных оказалось, что оптимальные геометрические параметры реза получаются строго в соответствии с данными табл. 5, при которых шероховатость составляет:

- 1) при обработке латуни ЛС59 $R_z = 3,2$ мкм, соответствует $\nabla 8$;
- 2) при обработке дюралю Д16 $R_z = 4,3 - 6,2$ мкм, соответствует $\nabla 7$.

Установлено, что диаметр $D = 5$ мм полученных стружек соответствует вышеприведенным значениям шероховатости поверхности при обработке данных материалов. Следовательно, $D = 5$ мм можно считать наилучшим критерием оптимизации геометрических параметров реза. Предлагаемый метод оптимизации геометрии реза при точении цветных пластичных металлов по форме стружки (диаметру скрутки) рекомендуется для практического применения.

Поступило 8.IV.1977

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ, Շ. Ռ. ԲԱԶՊԱՆՈՒԹՅԱՆ, Ե. Դ. ՄԱՍԻՍՅԱՆ

ՏԱՇԵՆԳԻ ԶԵՎԸ ՈՐՊԻՍ ԿՏՐԻԶԻ ԼԱՎԱԿՈՒՅՆ, ԵՐԿՐԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ
ՈՐՈՇՄԱՆ ԶԱՓԱՆԻՇԻ ԴՈՒՆԱՎՈՐ ՄԵՏԱԳՆՆԵՐԸ ՄԵԱԿՆԻՍ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում ցույց է տրված, որ առաջադրության ինքնարժեքի իջեցման և կտրիչի կայունության բարձրացման լավագույն միջոցն է կտրիչի երկրաչափության որոշումը, որի հետ կապված են մի շարք տեխնոլոգիական ցուցա-

ներշնչելով մակերևութի որակը, կտրիչի մաշումը, ախտների թրթռվածությունները և այլն: Կտրիչի օպտիմալ երկրաչափությունը մինչև այժմ որոշվել է կտրման ուժի, մակերևութի անհարթության միջոցով, օգտագործելով մշակելիության մաթեմատիկական մեթոդը՝ կապված երկրաչափության γ , ϕ , λ և r էլեմենտների հետ: Յուրյց է տրված, որ հնաբուսվոր է որոշել կտրիչի լավագույն երկրաչափությունը տաշնդի ձևի միջոցով (տաշնդի ուրուման D տրամագծով):

Փորձերը կատարվել են ըստ մաթեմատիկական 2^4 ախյի պլանավորման՝ դունավոր մետաղները ВК8 թիթեղն կտրիչով խառատային մշակման ժամանակ: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ այդ հղանակը զործնականում հեշտ իրականացվող է և տալիս է հուսալի արդյունք:

Հաստատված է, որ $D/16$ և $1/C/59$ դունավոր մետաղները մշակելիս տաշնդի $D=5$ մմ ստացվող չափը կարելի է համարել օպտիմալ երկրաչափության ընտրման ամենագործնական չափանիշ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Касьян М. В., Багдасарян Г. Б., Арутюнян Г. А. Об одном методе определения оптимальной геометрии металлорежущего инструмента, «Изв. АН АрмССР, серия техн. наук», т. XXVIII, № 2, 1975.
2. Багдасарян Г. Б., Балагезян А. Г. Определение оптимальных условий резания при токарной обработке цветных металлов. Сборник X конференции, ч. 3, Ленфильмал ЕрПИ, 1976.
3. Багдасарян Г. Б., Геворкян А. О. Исследование характера формирования оптимальной формы стружки по ее объемной деформации при работе неперетачиваемыми резцами конструкции ВНИИ. Сборник X конференции, ч. 3, Ленфильмал ЕрПИ, 1976.
4. Арутюнян Г. А., Багдасарян Г. Б. К вопросу об изучении показателей упрочнения статическим методом планирования экспериментов. Сборник «Воздействие режущего инструмента на физические свойства металлов», вып. III. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1973.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Յ. Ա. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ, Դ. Տ. ԴԱԳՅԱՆ, Ա. Կ. ՍՈԳՅԱՆ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ
ПАРАМЕТРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫЕ
АВТОКОЛЕБАНИЯ ПРИ ТРЕНИИ

Механические автоколебания в каком-либо отдельном узле трения машины или механизма могут нарушать нормальную работу машины. Примером служит вопрос обеспечения устойчивости медленных (скользящих) перемещений узлов станков с программным управлением, и связи с возникновением релаксационных автоколебаний при трении, где точность позиционирования имеет первостепенную важность. Принимается что основной причиной возникновения механических автоколебаний является наличие положительной разности между силами трения покоя и скольжения, и эта разность обусловлена как ростом силы трения покоя от продолжительности неподвижного контакта при совместном движении соприкасающихся поверхностей, так и падением силы трения скольжения с увеличением относительной скорости [1].

При подборе оптимальных пар трения необходимо учесть реологические свойства материалов, поверхностную топографию, значения удельной нагрузки, вид контактирования и др. В статье проведен математический анализ влияния определяющих параметров на силу трения покоя с целью нахождения оптимальной совокупности значений параметров, приводящей к максимизации и минимизации функции.

В качестве исследуемой принимается функция силы трения покоя от продолжительности неподвижного контакта, имеющая следующий общий вид [1; 2]:

$$T = \alpha A_s^{\frac{m}{n+m}} b^{\frac{m}{n+m}} \left(\frac{v+m}{B} \right)^{\frac{n}{n+m}} (1 - e^{-\beta_2 t^n}) N^{\frac{n}{n+m}}, \quad (1)$$

где α — коэффициент, учитывающий кинематическое и напряженное состояние на контакте;

A_s — контурная площадь касания;

m — коэффициент, характеризующий деформационные свойства материала;

v и b — параметры опорной кривой поверхности;

B — эмпирический коэффициент, по величине примерно равный максимальной твердости по Майеру;

λ_2 и p — константы материала, характеризующие его способность к пластической деформации;

t — время неподвижного контакта;

N — нормальная нагрузка.

Функция T зависит от переменных α , A_2 , b , B , λ_2 , ν , m , δ_2 , p и t , которые принимаются независимыми друг от друга и являются положительными по физическим соображениям.

Рассмотрим T как функцию одного переменного t , принимая остальные постоянными, т. е.

$$T = T^* (1 - e^{-\lambda_2 t^p})^{\frac{1}{p}}, \quad (2)$$

где

$$T^* = \alpha A_2^{\frac{m}{\nu+m}} b^{\frac{m}{\nu+m}} \left(\frac{\nu+m}{B} \right)^{\frac{\nu}{\nu+m}} N^{\frac{\nu}{\nu+m}} \quad (3)$$

— асимптота функции (рис. 1).

Одну и ту же асимптоту может иметь бесчисленное множество кривых, если в (2) изменить параметры δ_2 и p .

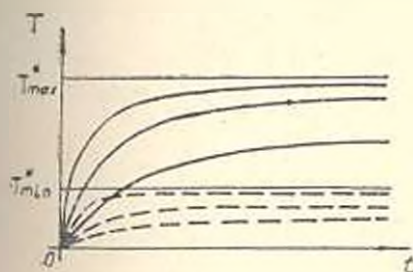


Рис. 1.

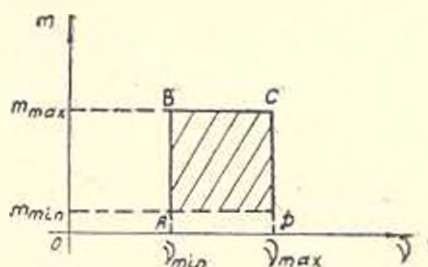


Рис. 2.

В нашей задаче все переменные изменяются в конечных промежутках, а именно:

$$0,5 \leq \alpha \leq 1; \quad 200 \text{ см}^2 \leq A_2 \leq 600 \text{ см}^2; \quad 2 \leq \nu \leq 6; \quad 0 \leq m \leq 0,5;$$

$$2 \leq b \leq 6; \quad 168 \leq B \leq 325; \quad 1,8 \leq \delta_2 \leq 4; \quad 1 \text{ сек} \leq t \leq 60 \text{ сек};$$

$$0,25 \leq p \leq 0,36; \quad 150 \text{ кгс} \leq N \leq 800 \text{ кгс}.$$

Необходимо исследовать уравнение асимптот (3), найти их максимальное и минимальное значения, если параметры изменяются в вышеуказанных промежутках.

Из (3) видно, что в максимальной точке параметры α , A_2 , b , B и N должны иметь следующие граничные значения: $\alpha_{\max}$, $A_{2\max}$, $b_{\min}$, $B_{\min}$ и $N_{\max}$. Подставляя эти значения в (3), получим:

$$T^* = \alpha_{\max} A_{2\max}^{\frac{m}{\nu+m}} b_{\min}^{\frac{m}{\nu+m}} \left(\frac{\nu+m}{B_{\min}} \right)^{\frac{\nu}{\nu+m}} N_{\max}^{\frac{\nu}{\nu+m}} \quad (4)$$

Преобразуем функцию (4):

$$T^* = K [c(v+m)]^{\frac{1}{1+m}}, \quad (5)$$

где

$$K = \alpha_{\max} A_{\alpha \max} \frac{1}{\beta_{\min}}; \quad c = \frac{N_{\max}}{A_{\alpha \max} \beta_{\max} B_{\min}}.$$

Эта функция определена и непрерывна, если $v+m > 0$.

Для существования точек экстремума необходимо, чтобы в этих точках

$$\frac{\partial T^*}{\partial v} = 0; \quad \frac{\partial T^*}{\partial m} = 0.$$

После вычислений получим.

$$\left. \begin{aligned} m \ln [c(v+m)] + v &= 0, \\ v \{1 - \ln [c(v+m)]\} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Эту систему можно разбить на две системы:

$$\left. \begin{aligned} m \ln [c(v+m)] + v &= 0, \\ v &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} m \ln [c(v+m)] + v &= 0, \\ 1 - \ln [c(v+m)] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Решим систему (7). Так как $v=0$, $m \ln (cm) = 0$ и $v+m > 0$, то $m \neq 0$, следовательно, $\ln (cm) = 0$ и $m = \frac{1}{c}$.

Из решения системы (8): $\ln [c(v+m)] = 1$; $m+v=0$.

Как видно, она несовместима и, следовательно, предполагаемая точка экстремума имеет координаты 0 и $1/c$.

Достаточное условие существования экстремума следующее:

$$\Delta = \frac{\partial^2 T^*}{\partial v^2} \frac{\partial^2 T^*}{\partial m^2} - \left(\frac{\partial^2 T^*}{\partial v \partial m} \right)^2. \quad (9)$$

Если $\Delta > 0$, то экстремум существует, и при $\frac{\partial T^*}{\partial v^2} < 0$ имеем максимум, а при $\frac{\partial T^*}{\partial v^2} > 0$ — минимум.

Если же $\Delta < 0$, то нет экстремума. При $\Delta = 0$ экстремум может быть, может и не быть.

Вычислим вторые производные и составим выражение для Δ . В точке $M(0; 1/c)$ значения этих производных следующие:

$$\frac{\partial^2 T^*}{\partial v^2} = 2c^2; \quad \frac{\partial^2 T^*}{\partial m^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 T^*}{\partial v \partial m} = c^2.$$

Тогда $\Delta = -c^2 < 0$, т. е. экстремума нет.

В таком случае, функция T^* принимает наибольшее значение на границе области, получаемой при условиях: $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$ и $m_{\min} \leq m \leq m_{\max}$ (рис. 2).

Чтобы найти это максимальное значение, нужно рассматривать функцию (5) на этой границе, т.е. отдельно на сторонах области определения этой функции, которая представляет собой прямоугольник. Так, например, на прямой BC (рис. 2) функция примет следующий вид:

$$T^* = K [c(v + 0,5)]^{\frac{v_{\max}}{v_{\min} + v_{\max}}} \quad (10)$$

Приравняв первую производную функции (10) к нулю, получим:

$$0,5 \ln [c(v + 0,5)] + v = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) аналитическим способом не решается, поэтому применяем графический метод. Для этого нужно построить графики функций $z = 0,5 \ln [c(v + 0,5)]$ и $z = -v$ на плоскости $(v; z)$ и найти точку их пересечения, если она имеется. Абсцисса этой точки будет решением уравнения (11). Вычисления показали, что на границе $ABCD$ экстремума нет. Это означает, что на сторонах прямоугольника функция (5) изменяется монотонно. Выяснилось, что максимум лежит на вершине прямоугольника $D(v_{\max}; 0)$, следовательно,

$$T_{\max}^* = K [c(v_{\max} + m_{\max})]^{\frac{v_{\max}}{v_{\min} + v_{\max}}} \quad (12)$$

Аналогичным образом получаем:

$$T_{\min}^* = K_1 [c_1(v_{\min} + m_{\min})]^{\frac{v_{\min}}{v_{\min} + v_{\max}}}, \quad (13)$$

где

$$K_1 = a_{\min} A_{c_1} m_{\min} b_{\min}; \quad c_1 = \frac{N_{\min}}{A_{c_1} m_{\min} b_{\min} B_{\max}}.$$

Область изменения функции (3) при выбранных интервалах параметров показана на рис. 1.

Таким образом, при конструировании узлов направляющих станков с программным управлением с целью обеспечения плавности перемещений, точности позиционирования, необходимо предварительно с помощью зависимости (13) подобрать оптимальную пару трения, качество обработки поверхностей, геометрические размеры и конструктивные параметры узлов трения таким образом, чтобы все это, в совокупности, привело к возможному наибольшему уменьшению значений силы трения покоя. Уменьшению релаксационных автоколебаний в значительной степени будет способствовать и снижение реологических воздействий на силу трения путем экспериментального подбора соответствующих значений δ_2 и p .

Չ. Ա. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ, Գ. Ս. ԳԱԳՅԱՆ, Ա. Կ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

**ՇՓՄԱՆ, ԺԱՄԱՆԱԿ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՌԵԼՍԵՍԱՑԻՈՆ
ԻՆՔՆԱՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԿՐԱ ՈՐՈՇԻՉ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ
ԱՄԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ԱՆԱԼԻՏԻԿ ԴՆԱՀԱՏՈՒՄԸ**

Ա մ փ ո փ ու մ

Քննարկվում է ծրագրային դեկավարմամբ հաստոցների հանգույցների հաստատուն տեղաշարժի և նրանց փոխադարձ դասավորության ճշտության հարցը ցածր արագությունների դեպքում, կախված ռելաքսացիոն ինքնատատանումների հնարավոր առաջացման հետ շփման ժամանակ: Անալիտիկ և զանազան զաղարի շփման ուժի ֆունկցիայի հետադոտման միջոցով դառնված է նրա փոփոխման տիրույթը: Ինքնատատանումների առաջացման հնարավորությունը փոքրացնելու նպատակով առաջարկված կախվածության միջոցով կարելի է նախօրոք ախտահարել կատարել շփման զույգի, շփման հանգույցի մակերևույթների մշակման որակի, երկրաչափական չափերի և կոնստրուկտիվ սպարամետրների բնորոշումներ, որ այդ բոլորը համատեղ բերի զաղարի շփման ուժի արժեքի հնարավոր սահմանում փոքրացմանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крагельский И. В. Трение и износ М., Изд-во «Машиностроение», 1968.
2. Костерик Ю. И. Механические автоколебания при сухом трении. М., Изд-во АН СССР, 1960.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Э. М. ДИЛАНЯН, Э. М. АГАБАБЯН, Г. К. АСТАБАТЦЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО
ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ПРИ ПОВОРОТЕ

При повороте колесных машин высокой проходимости с индивидуальным электроприводом каждого колеса появляется возможность улучшения статистических и динамических параметров поворотливости и управляемости [1], по сравнению с соответствующими параметрами дифференциального привода автомобилей, путем оптимального распределения тяговых усилий и скоростей между электродвигателями колес, в зависимости от скорости движения и угла поворота.

Для синтеза системы автоматического управления индивидуальными электроприводами электромобиля с четырьмя ведущими колесами, необходимо знать законы распределения скоростей и требуемых тяговых моментов на каждом колесе, удовлетворяющие условию обеспечения поворота машины с возможно меньшим радиусом поворота, при наименьшей затрате мощности двигателя и создании наиболее благоприятных контактных условий с грунтом [1]. В литературе приходится лишь анализ криволинейного движения с наперед заданными связями (например, дифференциальная связь колес).

В данной статье, на основании анализа кругового движения, определены законы распределения тяговых усилий и угловые скорости вращения колес. Из полученных закономерностей определены требуемые механические характеристики тягового электропривода и синтезирована схема автоматического управления индивидуальными тяговыми электроприводами.

Для определения сил и реакций, действующих на колеса электромобиля при круговом движении, рассмотрим линеаризованные уравнения, характеризующие движения одномассовой пространственной модели [2].

При круговом движении линейная скорость электромобиля (V) постоянная величина, и уравнения статики принимают следующий вид:

$$\sum X = 0; \quad X'_1 + X'_1 + X'_2 + X'_2 - P_w - Y_1 \theta_1 + P_{ex} = 0; \quad (1)$$

$$\sum Y = 0; \quad Y_1 + X_1 \theta_1 + Y_2 - P_{cy} = 0; \quad (2)$$

$$\sum Z = 0; \quad Z'_1 + Z'_1 + Z'_2 + Z'_2 - G = 0; \quad (3)$$

$$\sum M_{OZ} = 0; \quad Y_1 L + X_1 \theta_1 L + \frac{B}{2} (X'_2 - X'_2) + \frac{B}{2} (X'_1 - X'_1) = 0; \quad (4)$$

$$\sum M_{OY} = 0; \quad -Z_1 L + P_{ex} h_{u.1} + Gb - \sum M_{u1} - P_{u1} h_{u.1} = 0; \quad (5)$$

$$\sum M_{Ox} = 0; \quad -(Z_1' + Z_2') \frac{B}{2} + (Z_1'' + Z_2'') \frac{B}{2} - P_{cy} h_{ц.т} = 0, \quad (6)$$

где X_1', X_1'', X_2', X_2'' — касательные реакции, действующие на колеса;

Z_1', Z_1'', Z_2', Z_2'' — нормальные реакции, действующие на колеса;

$X_1 = X_1' + X_1''$ — сумма касательных реакций, действующих на передние колеса;

$X_2 = X_2' + X_2''$ — сумма касательных реакций, действующих на задние колеса;

Y_1 и Y_2 — сумма боковых реакций, действующих на передние и задние колеса;

Z_1 и Z_2 — сумма нормальных реакций, действующих на передние и задние колеса;

θ_1 — средний угол поворота управляемых колес;

$\sum M_M$ — сумма моментов сопротивления качению всех колес;

B и L — колея и база электромобиля (средние величины);

b — расстояние от задней оси до центра тяжести машины;

G — полный вес электромобиля;

$h_{ц.т}$ — расстояние от опорной поверхности до центра тяжести машины;

P_w — сила сопротивления воздуха;

P_{cx}, P_{cy} — проекции центробежной силы на оси X и Y ;

индексы 1 и 2 относятся, соответственно, к передней и задней осям, а индексы ' и '' — к внутренним и внешним (по отношению к центру поворота) колесам.

Как видно из уравнений (1) + (6), задача определения реакций является статически неопределимой. Для получения недостающих уравнений использованы следующие зависимости:

— условия равенства касательных реакций:

$$X_1' = X_1''; \quad X_2' = X_2''; \quad X_1 = X_2; \quad (7)$$

— выражения, связывающие боковые реакции, действующие на колеса каждой оси, и параметры, характеризующие углы увода этих осей:

$$Y_1 = K_{y1} \left(\theta_1 - \frac{L-x}{R} \right); \quad (8)$$

$$Y_2 = K_{y2} \left(\frac{x}{R} \right), \quad (9)$$

где K_{y1} и K_{y2} — суммарные коэффициенты сопротивления уводу передних и задних колес, соответственно; x — расстояние от задней оси до полюса поворота; R — радиус поворота.

Учитывая известное из курса теории автомобиля выражение для касательных реакций ($\lambda = P_T - fZ$) и условие равенства касательных реакций (7), получим выражения для определения распределения тяговых усилий между осями и колесами электромобиля:

$$P_{r1} = \frac{P_{T, \text{полн}} + f(Z_1 - Z_2)}{2}; \quad P_{r2} = P_{T, \text{полн}} - P_{r1}; \quad (10)$$

$$P'_{r1} = \frac{P_{r1} + f(Z'_1 - Z'_1)}{2}; \quad P'_{r1} = P_{r1} - P'_{r1}; \quad (11)$$

$$P'_{r2} = \frac{P_{r2} + f(Z'_2 - Z'_2)}{2}; \quad P'_{r2} = P_{r2} - P'_{r2}; \quad (12)$$

где $P_{T, \text{полн}}$ — полное тяговое усилие, потребное при повороте электромобиля [определяется из решения уравнений статики совместно с условиями (7)];

$P_{r1}, P'_{r1}, P_{r2}, P'_{r2}$ — потребные тяговые усилия соответствующих колес;
 f — коэффициент сопротивления качению колеса (средняя величина).

Угловые скорости вращения соответствующих колес (ω_k) определяются из условия равенства линейных скоростей в контакте колеса с опорной поверхностью:

$$\begin{aligned} \omega_{k1} &= \frac{\omega R'_1}{r_{k1}}; & \omega_{k2} &= \frac{\omega R'_2}{r_{k2}}; \\ \omega_{k1} &= \frac{\omega R_1}{r_{k1}}; & \omega_{k2} &= \frac{\omega R_2}{r_{k2}}. \end{aligned} \quad (13)$$

где $r_{k1}, r_{k1}', r_{k2}, r_{k2}'$ — радиусы качения соответствующих колес;

ω — угловая скорость поворота электромобиля;

R_1, R'_1, R_2, R'_2 — расстояния от мгновенного центра поворота до точки соприкосновения соответствующего колеса с опорной поверхностью.

Радиусы качения колес можно определить по выражению [2, 3]

$$r_k = r_{k0} \left(1 - \varepsilon_x \frac{X}{Z} \right), \quad (14)$$

где r_{k0} — радиус качения колеса в свободном режиме ($\lambda = 0$);

ε_x — удельный коэффициент тангенциальной эластичности шины.

Задаваясь значениями угла поворота Θ , при постоянной величине скорости движения V , по вышеприведенным уравнениям определяются потребные тяговые усилия и угловые скорости соответствующих колес.

Зная закон распределения тяговых моментов, а также угловые скорости колес, можно определить законы регулирования напряжениями индивидуальных электроприводов многодвигательного электроавтомобиля при круговом движении в зависимости от угла Θ и скорости V .

Ниже приводится пример определения законов управления напряжениями асинхронных электродвигателей электроавтомобиля с четырьмя ведущими колесами и передней управляемой осью.

Для асинхронного двигателя, работающего в режиме постоянства абсолютного скольжения, основным управляющим параметром является напряжение на двигателе. Воспользуемся уравнением для фазового напряжения асинхронного двигателя, работающего в режиме постоянства абсолютного скольжения, в относительных единицах [4]:

$$U_1 = \sqrt{M} \frac{\omega_1 + (K_{\beta 1} + \beta)}{K_{\beta 2}}, \quad (15)$$

где U_1 , M , ω_1 — соответственно фазовое напряжение, электромагнитный момент и угловая скорость вращения ротора асинхронного двигателя (АД);

$\beta = \frac{f_2}{f_{1n}}$ — абсолютное скольжение АД;

f_2 — частота тока ротора;

f_{1n} — частота тока статора (номинальная величина).

Коэффициенты $K_{\beta 1}$ и $K_{\beta 2}$ определяются по выражениям:

$$K_{\beta 1} = \frac{r_1 r_2'^2}{\beta \left[\left(\frac{r_2'}{\beta} \right)^2 + (X_1 + X_1'/s_1)^2 \right]}, \quad K_{\beta 2} = \sqrt{\frac{K_{\beta 1}}{s_1^2 r_1}};$$

где r_1 , r_2' , X_1 , X_1' , s_1 — параметры АД, определяемые при номинальной частоте тока статора.

Зная передаточное отношение от электродвигателя к колесу (i), можно определить скорость вращения ротора двигателя соответствующего колеса в относительных единицах:

$$\omega_A = i \frac{\omega_1}{\omega_{\text{син}}},$$

где $\omega_{\text{син}}$ — номинальная синхронная угловая скорость вращения поля статора.

Изменение напряжений ΔU на двигателях передней оси относительно напряжения, требуемого при прямолинейном движении электроавтомобиля с той же скоростью, определяем по выражениям:

$$\frac{\Delta U_1}{U_{\text{др}}} = \frac{U_{\text{др}} - U_1}{U_{\text{др}}} = 1 - \frac{\omega_{A1}' + (K_{\beta 1} + \beta)}{\omega_{A, \text{др}} + (K_{\beta 1} + \beta)} \sqrt{\frac{M_1}{M_{\text{нп, к}}}}, \quad (16)$$

$$\frac{\Delta U_i'}{U_{\text{пр}}} = \frac{U_{\text{пр}} - U_i'}{U_{\text{пр}}} = 1 - \frac{\omega_{\text{з. пр}}^2 + (K_{\text{з1}} + \beta)}{\omega_{\text{з. пр}}^2 + (K_{\text{з1}} + \beta)} \sqrt{\frac{M_i'}{M_{\text{пр. з}}}} \quad (17)$$

где $M_{\text{пр. з}}$ — тяговый момент на одном колесе, необходимый при прямолинейном движении;

M_1, M_2 — тяговые моменты соответствующих колес при круговом движении;

$$\frac{M_i'}{M_{\text{пр. з}}} = \frac{P_{\text{т1}}/r_{\text{з. з}}}{P_{\text{т. пр}}/4r_{\text{з. з}}} = \frac{4P_{\text{т1}}'}{P_{\text{т. пр}}}; \quad \frac{M_1'}{M_{\text{пр. з}}} = \frac{4P_{\text{т1}}'}{P_{\text{т. пр}}};$$

$P_{\text{т. пр}}$ — тяговое усилие, требующееся при прямолинейном движении.

Таким же образом можно найти изменение напряжений и для колес задней оси.

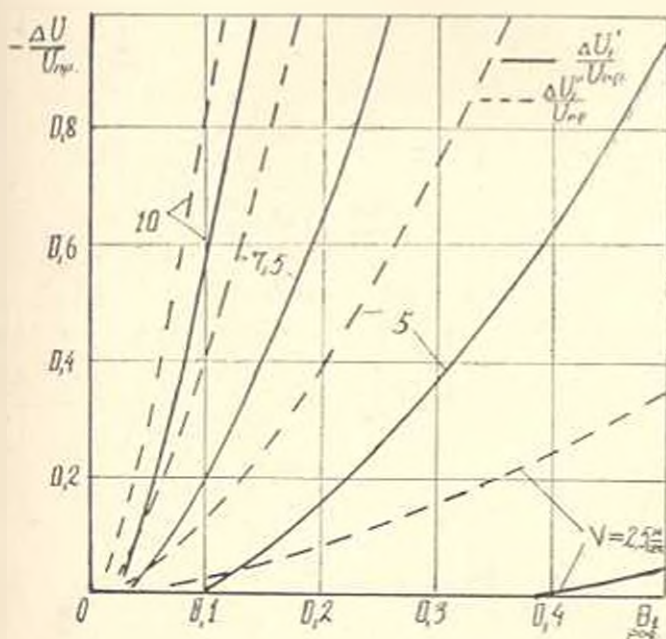


Рис. 1. Кривые изменения напряжений на двигателях колес относительно напряжения двигателя, потребного при прямолинейном движении, в зависимости от угла поворота (μ_1) и скорости движения (V).

Количественный анализ выражений (16) и (17) в зависимости от угла поворота и скорости движения проводился для электромобиля с параметрами:

$$G = 3300 \text{ кг}; \quad L = 2.7 \text{ м}; \quad a = b = 0.5L; \quad B = 1.5 \text{ м}; \quad L_{\text{з. т}} = 0.8 \text{ м}; \\ \alpha_{\text{т}} = 0.09; \quad kF = 0.618 \text{ кг} \cdot \text{сек}/\text{м}; \quad i = 4; \quad K_{\text{т1}} = K_{\text{т2}} = 6000 \text{ кг}/\text{рад}.$$

На рис. 1 приведены расчетные характеристики.



Анализ этих характеристик для машин данного габарита показал, что в первом приближении возможно приводы каждого борта осуществлять от одного преобразователя частоты.

После аппроксимации характеристик, приведенных на рис. 1, получаем выражение для ΔU , которое позволяет реализовать регулятор по Θ_1 и V :

$$\frac{\Delta U_1}{U_{пр}} = 3\Theta_1 - 5\Theta_1 + 0,064V^2 - 0,73V + 1,5\Theta_1 V + 1,8. \quad (18)$$

На рис. 2 приведена структурная схема управления тяговыми электродвигателями передней оси электромобиля, работающими в режиме постоянства абсолютного скольжения.

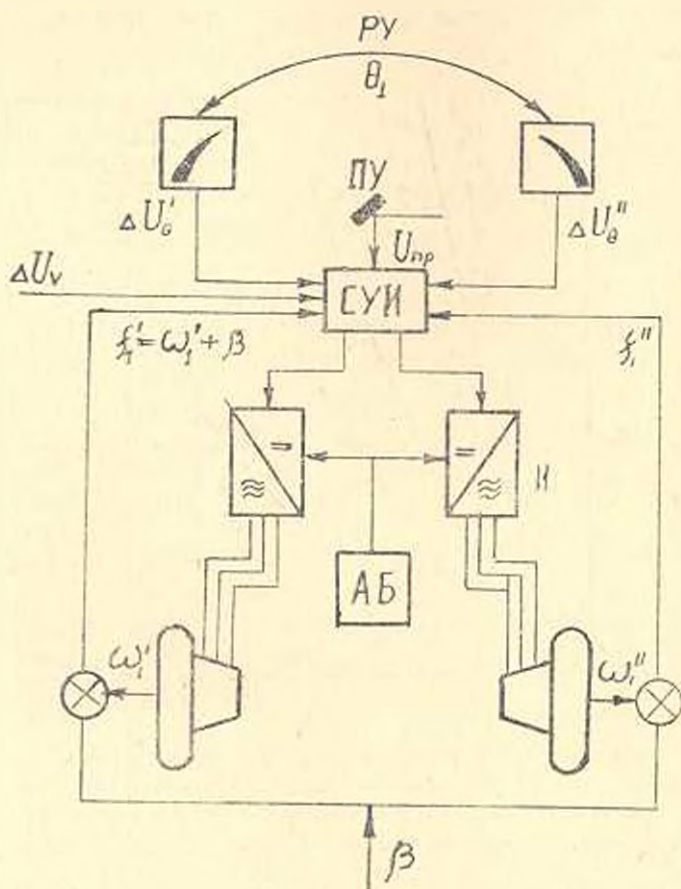


Рис. 2. Структурная схема управления электродвигателями передней оси при повороте: ПУ — педаль ускорения РУ — рулевое управление; И — инвертор; СУИ — система управления инвертором; АБ — аккумуляторная батарея. (ΔU_v , ΔU_a — изменение напряжений двигателей от скорости движения и угла поворота; β — абсолютное скольжение асинхронных двигателей; f_1 — частота тока статора; f_2 — частота тока ротора).

Как показали исследования, для обеспечения заданных параметров движения при повороте электромобиля с индивидуальным электроприводом переменного тока при $\beta = \text{const}$ необходимо ввести регулятор, распределяющий напряжения между двигателями колес в зависимости от величины угла поворота и скорости движения.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 5.1.1977.

Է. Մ. ԿԻՍԵՅԱՆ, Է. Մ. ԱՂԱՐՔՅԱՆ, Գ. Կ. ԱՆՏԱՐԱՏՅԱՆ

**ՊՏՈՒՅՏԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ԲԱԶՄԱՇԱՐԺԻԶԱՅԻՆ, ԷԼԵԿՏՐՈՄՈԲԻԼԻ
ԷԼԵԿՏՐԱՇԱՐԺԻԶՆԵՐԻ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ
ՕՐԵՆՔՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում դիտված են էլեկտրոմոբիլի բաղաձառժիշային էլեկտրաբանեցման ղեկավարման օրենքները որոշող հարցեր, որոնք հիմնված են շրջանային շարժման ժամանակ էլեկտրոմոբիլի վրա ազդող ուժերը և անվաղողների հակազդումները գտնելու: Հիման վրա: Բացարձակ սահմանի ռեժիմում աշխատող բարձրային ապասխնիստն շարժիչի լարման փոփոխությունների որոշման համար ստացված են արտահայտություններ, կախված ղեկի պտտման անկյունից և էլեկտրոմոբիլի արագությունից: Մոտարկումից հետո լարման փոփոխության արտահայտություններից ստացված է հավասարում, որի հիման վրա իրականացվում է լարման կարգավորիչը:

Բերված է էլեկտրոմոբիլի բաղաձառժիշային էլեկտրաբանեցման կառուցվածքային սխեման:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фаробин Я. Е. Теория поворота транспортных машин, М, 1970.
2. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля. М, 1971.
3. Чудиков Е. А. Избранные труды, т. 1, М., 1961.
4. Диланян Э. М., Агабабян Э. М., Асрабадцян Г. К. Управление электроприводом электромобиля. Сб. научн. трудов ЕрПИ, вып. 13, 1974.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Н. Г. ИНИКЯН, М. Е. ИОНДЕМ, А. Л. МАИЛЯН

ПРОВОДИМОСТИ ПАЗОВОГО И ЛОБОВОГО РАССЕЯНИЯ
ОБМОТКИ СТАТОРА АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Создание новых серий современных асинхронных двигателей выдвигает задачу совершенствования методов расчета их параметров. Существующие методики [1÷4] дают результаты, значительно отличающиеся друг от друга. В связи с этим возникает необходимость оценить точность методики расчета, что может быть выполнено на основе достоверных опытных данных.

В настоящей статье производится оценка точности расчета пазовой и лобовой составляющих индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора в установившемся режиме асинхронной машины малой мощности (от 0,1 до 0,6 кВт). Указанные составляющие определяются соответствующими удельными магнитными проводимостями. Их опытное определение представляет собою отдельную задачу, решение которой излагается ниже.

Опытные значения удельных магнитных проводимостей рассеяния будем определять при условии, принятом в расчетных методиках, — при ненасыщенной магнитной системе машины. В двигателях рассматриваемого диапазона мощностей станина и подшипниковые щиты выполняются обычно из немагнитного материала (алюминиевого сплава), ввиду чего на лобовое рассеяние практически не влияет близость подшипниковых щитов. В связи с изложенным можно считать, что пазовое и лобовое рассеяние статора остается неизменным в собранной и разобранной машине, и соответствующие удельные магнитные проводимости определить из опытов на отдельном статоре. При удалении ротора ощутимо возрастает поток торцевой зоны по сравнению с потоком в расточке статора, и изменяется картина дифференциального рассеяния. Поток, существующий в расточке, представляет собою поток взаимоиנדукции всех трех фаз обмотки в пределах сердечника статора. Потоки торцевых зон будем рассматривать как состоящие из потоков взаимоиנדукции (рис. 1, потоки «а» и «б») и потоков рассеяния лобовых частей (потоки «в»). Потоки взаимоиנדукции разделяем на потоки, замыкающиеся через полость, занимаемую ротором (потоки «а»), и потоки, не достигающие этой полости (потоки «б»). Последние с потоками рассеяния «в» обуславливают индуктивное сопротивление рассеяния лобовых частей при наличии ротора. Сумму потока в расточке и потока взаимоиנדукции «а» будем называть полным потоком взаимоиנדукции.

Исследования проводились на асинхронных двигателях серии АОЛ 1-го и 2-го габаритов (см. табл. 1). На статоре были установлены следующие измерительные катушки (рис. 1):

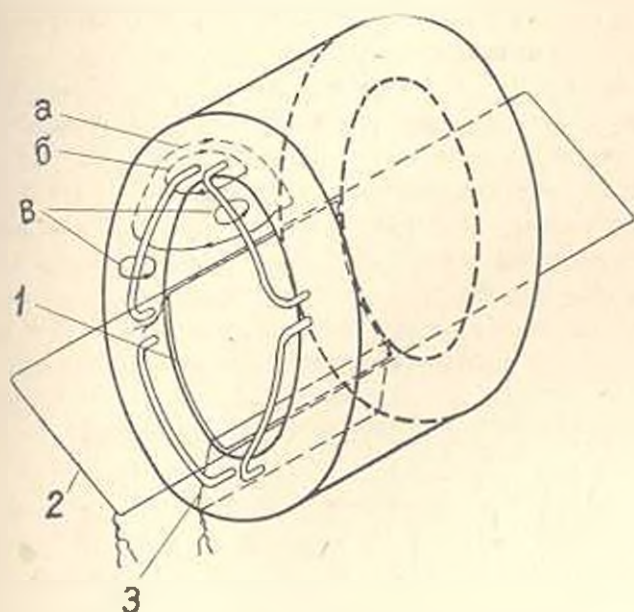


Рис. 1. Расположение измерительных катушек на статоре. Упрощенная картина магнитного поля в торцевой зоне статора: а — потоки взаимной индукции, замыкающиеся через полость, занимаемую ротором, б — потоки взаимной индукции, не достигающие полости, занимаемой ротором, в — потоки лобового рассеяния.

- катушка 1 с двумя активными сторонами, уложенными на поверхности расточки посередине зубцов на расстоянии полюсного деления одна от другой, имеющими длину сердечника статора;
- катушка 2 — такая же, как и катушка 1, но с активными сторонами, длина которых значительно превышает длину обмотанного статора;
- катушка 3, охватывающая сердечник статора и имеющая одну активную сторону, расположенную посередине зубца.

В собранной машине были установлены только катушки 1 и 3. Катушка 2 устанавливалась дополнительно при вынутом роторе. В измерительной катушке 1 э. д. с. индуцируется только потоком в расточке, а в катушке 2 — полным потоком взаимной индукции. Э. д. с. катушки 3 индуцируется тем же потоком, что и в катушке 2, но дополнительно также потоками взаимной индукции лобовых частей, не достигающими полости, занимаемой ротором (потоки «б»).

Э. д. с. измерительной катушки, приведенная к обмотке статора, будет

$$E = \frac{\omega k_0}{\omega_n} E_n,$$

где E_n и ω_n — э. д. с. и число витков измерительной катушки;
 ω и k_0 — число витков и обмоточный коэффициент фазы обмотки статора.

При синхронном вращении двигателя АОЛ21-4 (270 Вт, 1400 об/мин) значения приведенных э. д. с. измерительных катушек 1 и 3 практически совпадают (рис. 2, кривая 1). При вынутом роторе э. д. с. катушки 1 значительно меньше, чем катушек 2 и 3 (рис. 2, кривые II). Эти данные показывают, что в собранной машине поток взаимной индукции в торцовой зоне практически не ощущается, в то время, как при вынутом роторе он составляет значительную долю потока в расточке. Эта доля определяется по соотношению э. д. с. измерительных катушек и для указанного двигателя, имеющего отношение $l/\tau=1$ (l — длина сердечника, τ — полюсное деление статора), равна 0,31, а для двигателя АОЛ21-2 (400 Вт, 2800 об/мин, $l/\tau=0,5$) составляет 0,67.

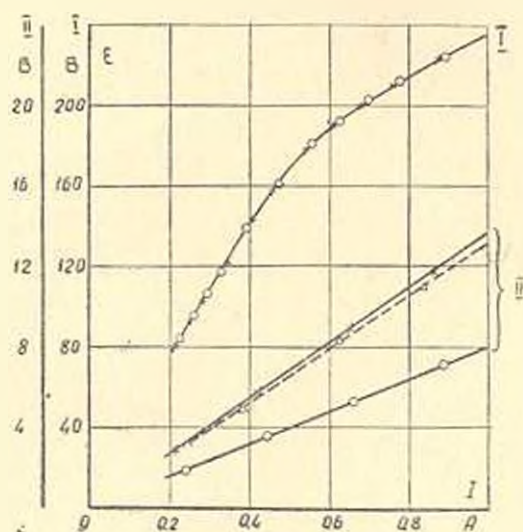


Рис. 2. Э. д. с. измерительных катушек двигателя АОЛ21-4 при синхронном вращении (кривая I) и при вынутом роторе (кривые II), приведенные к обмотке статора:
 —○—○— катушки 1; —△—△—катушки 2; —×—×— катушки 3.

В известном способе вынутого ротора [5] возрастание торцового потока не учитывается и вследствие этого оказывается отнесенным к потокам рассеяния. В способе рекомендуется учитывать либо расчетным (поправка Шенкеля), либо опытным (с помощью специальной измерительной катушки) путем только поток в расточке. Однако принципиально правильным является учет не только потока в расточке, но и возросшего торцового потока, что и выполняется в данной работе.

Сумму пазовой x_n и лобовой x_l составляющих индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора предлагается определять следующим образом (измерения производятся также, как и в способе вынужденного ротора). К обмотке статора подводится симметричное трехфазное напряжение такой величины, чтобы ток в ней не превышал номинального значения. Измеряются напряжение, ток и потребляемая мощность. По этим данным определяется индуктивное сопротивление x обмотки статора, обусловленное всеми потоками взаимной индукции и рассеяния. На статоре предварительно устанавливается измерительная катушка 2, активные стороны которой располагаются на поверхности расточки посередине щипцов. При таком расположении катушки э.д.с. в ней индуцируется полным потоком взаимной индукции, а также потоком рассеяния по головкам зубцов при вынужденном роторе. По э.д.с. измерительной катушки определяется обусловленное этими потоками индуктивное сопротивление $x_n = E/I$, где I — ток фазы обмотки статора в опыте.

Сумма пазовой и лобовой составляющих индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора будет равна $x = x_n$.

Измерения показывают, что при токах $0,5I_n \leq I \leq I_n$ магнитная проницаемость стали статора значительно больше, чем воздуха. Поэтому в указанном интервале искомые величины можно рассматривать как постоянные, не зависящие от тока статора, что позволяет применить метод наложения при раздельном определении значений x_n и x_l . Для этого можно использовать данные опытов на статорах, имеющих одинаковую поперечную геометрию, один и тот же тип обмотки, одинаковую форму и размеры лобовых частей, и отличающихся только длиной сердечника. В принципе можно ограничиться двумя статорами. Однако, чтобы в некоторой мере компенсировать погрешности, возникающие из-за неизбежных отклонений в расположении измерительных катушек, нужно иметь данные измерений более, чем на двух объектах. Для большей надежности результатов желательно использовать машины с одинаковыми пазами, но с разным числом пазов на полюс и фазу.

Машины, удовлетворяющие этим условиям, имеются в серии АОЛ. В двух- и четырехполюсных двигателях каждого габарита здесь применен один и тот же лист статора. Рассмотрим, например, двигатель 2-го габарита:

АОЛ 21-4 — машина № 1

АОЛ 22-4 — машина № 2

АОЛ 21-2 — машина № 3

АОЛ 22-2 — машина № 4

Пазы статора полузакрытые, грушевидной формы. Машины №№ 1 и 2 четырехполюсные, имеют простую шаблонную обмотку и отличаются числом витков фазы обмотки и длиной сердечника статора, машины №№ 3 и 4 двухполюсные, имеют шаблонную обмотку «вразвалку» и от-

личаются также числом витков фазы обмотки и длиной сердечника статора. Длины сердечников статоров находятся в соотношениях (индекс указывает номер машины):

$$l_{(1)} = l_{(3)}; \quad l_{(2)} = l_{(4)}. \quad (1)$$

Указанные условия в равной мере выполняются и в двигателях серии АОЛ 1-го габарита. В них пазы статора полужакрытые трапецевидальные с плоским дном.

Обозначим для каждой машины:

$$\begin{aligned} x_{n(1)} + x_{s(1)} &= A; \\ x_{n(2)} + x_{s(2)} &= B; \\ x_{n(3)} + x_{s(3)} &= C; \\ x_{n(4)} + x_{s(4)} &= D. \end{aligned} \quad (2)$$

Согласно методикам [1, 2]

$$x_n = \frac{4\pi f \omega^2 l}{pq} i_n = G i_n, \quad (3)$$

$$x_s = \frac{4\pi f \omega^2 l}{pq} i_s = G i_s, \quad (4)$$

где $G = \frac{4\pi f \omega^2 l}{pq}$; f — частота тока в обмотке статора; q — число пазов на полюс и фазу статора; p — число пар полюсов; i_n и i_s — удельная магнитная проводимость соответственно пазового и лобового рассеяния.

Эти двигатели имеют неодинаковые значения G по указанным выше причинам. Разделив каждое из уравнений (2) на соответствующее ему значение G , получим:

$$\begin{aligned} i_{n(1)} + i_{s(1)} &= a; \\ i_{n(2)} + i_{s(2)} &= b; \\ i_{n(3)} + i_{s(3)} &= c; \\ i_{n(4)} + i_{s(4)} &= d; \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$a = A/G_{(1)}; \quad b = B/G_{(2)}; \quad c = C/G_{(3)}; \quad d = D/G_{(4)}.$$

Так как в указанных двигателях применен один и тот же лист статора, то размеры паза одинаковы для всех двигателей, поэтому

$$i_{n(1)} = i_{n(2)} = i_{n(3)} = i_{n(4)}. \quad (6)$$

Величина x_n физически пропорциональна длине сердечника статора, величина x_s от нее не зависит. Для удобства расчета в мето-

дихах [1; 2] величина x_n определяется по формуле такого же вида, что и x_n [см. формулы (3) и (4)]. При этом в (4) под величиной λ_n подразумевается величина реальной удельной магнитной проводимости любых частей λ_n^* (одинаковая для двигателей каждой пары) деленная на длину сердечника статора соответствующего двигателя. Таким образом,

$$\lambda_{n(1)} = \frac{\lambda_n^*}{l_{(1)}}; \quad \lambda_{n(2)} = \frac{\lambda_n^*}{l_{(2)}};$$

откуда получаем

$$\lambda_{n(1)} = \lambda_{n(2)} \frac{l_{(2)}}{l_{(1)}}. \quad (7)$$

Аналогично будем иметь

$$\lambda_{n(3)} = \lambda_{n(4)} \frac{l_{(3)}}{l_{(4)}}. \quad (8)$$

На основании условий (6), (7) и (8) уравнения (5) можно рассматривать как систему, решая ее с учетом (1), получаем:

$$\lambda_{n(1)} = \frac{(l_{(2)} - l_{(1)})(a + b + c + d) - (a - b + c - d)(l_{(2)} + l_{(1)})}{4(l_{(2)} - l_{(1)})}.$$

Величины $\lambda_{n(1)}$, $\lambda_{n(2)}$, $\lambda_{n(3)}$ и $\lambda_{n(4)}$ находим непосредственно из уравнений системы (5).

В табл. 1 представлены результаты опытного* и расчетного определения удельных магнитных проводимостей пазового и лобового рассеяния обмотки статора. Из-за трудностей, связанных с установкой активных сторон измерительной катушки 2 на поверхности расточки точно посередине шлицов, последние располагались в серединах головок зубцов. Измеренное при этом индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора обусловлено пазовым и лобовым рассеянием, а также рассеянием по головкам зубцов при вынутом роторе, которое при данном способе разделения объединяется с пазовым рассеянием. Поэтому здесь реальными являются значения λ_n , значения же λ_n получаются преувеличенными (опытные данные табл. 1 для двигателей 1-го габарита и данные в числителе для двигателей 2-го габарита).

Измерения проводились также с помощью измерительных катушек 3. На каждом статоре были установлены по три или четыре катушки, равноудаленные друг от друга. Активная сторона располагалась на поверхности расточки посередине шлица. В расчетах использовалось среднее арифметическое показаний всех катушек. Измеренное при этом индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора обусловлено пазовым рассеянием и рассеянием лобовых частей, уменьшенным на величину, соответствующую потокам взаимной индукции, не дости-

* В опытах принимал участие инж. Тер-Погосян С. А.

гающим ротор (поток «б» на рис. 1). Поэтому здесь реальными являются значения I_n , а значения I_a получаются заниженными (табл. 1, опытные данные в знаменателе для двигателей 2-го габарита). Кривая э.д.с. измерительных катушек определялась с помощью электронного осциллографа и была практически синусоидальной. Напряжение, ток и мощность измерялись приборами с классом точности 0,5, а э.д.с. измерительных катушек — электронным вольтметром типа Ф 563 (класс точности 0,5). Точность примененных приборов позволяет принять измеренные величины (I_n по данным катушки 1 и I_a по данным катушки 2) за основу для оценки расчетных методик. Если допустить приемлемой разницу в 10% между расчетными и опытными значениями, то удовлетворительные результаты для удельной проводимости пазового рассеяния i_n дает методика [1].

Таблица 1

Удельные магнитные проводимости пазового и лобового рассеяния обмотки статора двигателей серии АОЛ 1-го и 2-го габаритов

Тип двигателя	О п ы т				Р а с с ч е т							
	мощность, P_n	скорость вращения, об/мин	I_n	I_a	λ_n				λ_a			
					[1]	[2]	[3]	[4]	[1; 2]	[3]	[4]	
АОЛ 11-4	120	1400	1,75	2,10	1,54	1,93	1,51	1,75	2,27	1,65	2,10	
АОЛ 12-4	180	1400	1,75	1,53	1,54	1,93	1,51	1,75	1,68	1,23	1,56	
АОЛ 11-2	180	2800	1,75	3,10	1,54	1,93	1,51	1,75	2,74	6,50	6,16	
АОЛ 12-2	270	2800	1,75	2,30	1,54	1,93	1,51	1,75	2,03	4,82	3,98	
АОЛ 21-4	270	1400	1,74	1,67	1,33	1,75	1,39	1,59	1,98	1,59	1,92	
			1,25	1,48								
АОЛ 22-4	400	1400	1,74	1,21	1,33	1,75	1,39	1,59	1,46	1,17	1,41	
			1,25	1,10								
АОЛ 21-2	400	2800	1,74	2,46	1,33	1,75	1,39	1,56	2,34	6,23	5,59	
			1,25	1,77								
АОЛ 22-2	600	2800	1,74	1,83	1,33	1,75	1,39	1,59	1,72	4,61	4,12	
			1,25	1,29								

Для удельной проводимости лобового рассеяния λ_a удовлетворительные результаты получаются для четырехполюсных двигателей по методикам [1; 2; 4], а для двухполюсных — по методикам [1; 2].

В ы в о д ы

1. При удалении ротора поток взаимной индукции торцевой зоны статора значительно возрастает по сравнению с потоком в расточке. Поэтому при определении индуктивного сопротивления, обусловленного потоками рассеяния при вынутом роторе, торцевой поток, замы-

ходящийся через полость, занимаемую ротором, должен быть исключен.

2. Разработан способ отдельного определения проводимостей пазового и лобового рассеяния обмотки статора, позволяющий путем несложных опытов на серийных статорах, собранных из одних и тех же листов, получить искомые величины.

3. Оценка методик расчетного определения удельной проводимости пазового и лобового рассеяния показывает, что применительно к синхронным машинам малой мощности наиболее точной (погрешность не более 10%) является методика. [1].

ЕрПН им. К. Маркса

Поступило 7.1.1977.

Ն. Զ. ՆՊՈՒՅԱՆ, Մ. Ե. ՅՈՒԿԵՄ, Ա. Ը. ՄԱՅՈՒՅԱՆ

ԱՊԱՍԻՆԵՐՈՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՍՏԱՏՈՐԻ ՓԱԹՈՒՅԹԻ ՓՈՐԱՏԱՅԻՆ ԵՎ ՃԱԿԱՏԱՅԻՆ ՑՐՄԱՆ ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Մշակված է հանված ուտորի ժամանակ փորատային և ճակատային ցրման տեսակարար հաղորդականությունների փորձնական որոշման եղանակ: Արդյունքները ստացված են ստատորի նույն թիթեղներով հափարված, բայց տարբեր միջուկի երկարություն ունեցող, սերիական ապասխինյոն շարժիչների համար: Փորձնական տվյալների հիման վրա կատարված է նշված հաղորդականությունների հաշվառման համար դոյություն ունեցող մեթոդիկաների գնահատում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ВНИИЭМ. Нормаль расчетная ОАБ630000.
2. Сергеев П. С., Виноградов Н. В., Горяинов Ф. А. Проектирование электрических машин, «Энергия», 1969.
3. Данилович Я. Б., Домбровский В. В., Казовский Е. Я. Параметры электрических машин переменного тока, «Наука», 1965.
4. Шубский В. П. Расчет электрических машин, «Энергия», 1968.
5. Жерас Г. К. Промышленные испытания электрических машин, «Энергия», 1966.

М. А. БАЛАБЕКЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ ПОТЕРЬ
В СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ

При решении задачи по наиболее выгодному распределению активных нагрузок между станциями энергосистем приходится определять относительные приросты потерь всех источников активной и реактивной мощностей, т. е. частные производные от суммарных потерь мощностей в сетях энергосистемы по мощностям соответствующего источника.

Задачу расчета относительных приростов потерь можно рассматривать как определенный этап расчета оптимальных установившихся режимов. Для расчета частных производных в уравнениях оптимальных режимов энергосистем применяются несколько методов. Получить точные выражения удельных приростов потерь затруднительно, так как при изменении какой-либо узловой мощности (активной или реактивной) изменяются значения модулей и фазовых углов всех напряжений, кроме базисного. Поэтому практически обычно пользуются приближенными формулами для удельных приростов потерь. Одним из таких методов является приращение, так называемых, B -коэффициентов формулы потерь для расчета вышеуказанных частных производных [1]. Как известно, метод B -коэффициентов определения относительных приростов потерь основывается на следующих допущениях:

- а) при изменении режима модули и аргументы во всех узлах остаются неизменными;
- б) отношение реактивных и активных мощностей по всем узлам при изменении режимов остается неизменным;
- в) при изменении режимов каждая нагрузка является фиксированной долей общей нагрузки системы.

В [2; 3; 4] были предложены более усовершенствованные методы расчета относительных приростов потерь, однако эти методы также не обеспечивают требуемой точности при расчете оптимальных режимов больших энергосистем. В [5; 7] получены аналитические выражения для определения относительных приростов потерь, которые позволяют учитывать любые факторы, влияющие на режим данной энергосистемы. Здесь определение частных производных типа $\frac{\partial U_k}{\partial P_n}$, $\frac{\partial Q_n}{\partial P_n}$, $\frac{\partial \psi_i}{\partial P_n}$ сводится к обращению матриц порядка $2M$ (M —число узлов энерго-

системы). Для больших энергосистем практическое применение этого метода стало почти невозможным, потому что метод требовал большой оперативной памяти вычислительной машины и много машинного времени вычисления. Применение предлагаемого метода определения указанных частных производных для больших энергосистем стало возможным благодаря принципиально новому подходу—представлению больших систем как совокупности радиально связанных оптимальных подсистем [6]. Этот метод позволяет при установлении численных значений вышеуказанных частных производных взамен обращения одной матрицы высшего порядка рассмотреть обращение ряда матриц несравненно низших порядков. Порядок отдельных подматриц характеризуется числом узлов соответствующих подсистем. Несмотря на то, что в этом методе обращается матрица низшего порядка, этот процесс неизбежен. А обращение матрицы при расчетах электрических режимов (установившихся и оптимальных), как известно, занимает основное машинное время вычисления.

Полученные аналитические выражения, для определения частных производных от потерь активных мощностей по мощностям станционных узлов, вводятся в общую систему уравнений оптимальных режимов больших энергосистем. Уравнения оптимальных режимов энергетических систем являются нелинейными и решаются методом итерации. Исследования показывают, что во многих случаях целесообразно в начальных итерациях пользоваться упрощенными выражениями частных производных, в которых нет обращения матриц.

В связи с этим, целью настоящей статьи является предложение более упрощенной формулы, которая может быть использована при организации первой стадии решения нелинейных алгебраических уравнений оптимальных режимов методом подсистемы. Упрощенную формулу частных производных можно использовать также и в других расчетах, не требующих большой точности.

В статье принимается следующая система индексов: для станционных узлов $m = 0, 1, 2, \dots, g$, где g —число станционных узлов с неизвестными узловыми мощностями. Узел с нулевым индексом имеет зависящие узловые мощности и выбирается как базисный.

Для произвольных узлов, включающих в себя как станционные так и нагрузочные узлы, выбирается $i = 1, 2, \dots, g, g+1, \dots, g+n=m$,

где n —число нагрузочных узлов; m —число общих узлов в исследуемой энергосистеме, за исключением базисного.

Когда большая электроэнергетическая система представляется как совокупность радиально связанных подсистем, то потери мощностей каждой подсистемы определяются [6] так:

$$\begin{aligned}
 U_{i_1} &= \frac{U_{\phi a_{i_1}}}{\cos \psi_{i_1}} + \sum_{j=1}^{m_1} [(R_{i_1 j_1} P_{j_1} + X_{i_1 j_1} Q_{j_1}) \frac{\cos \psi_{j_1}}{U_{j_1} \cos \psi_{i_1}} - \\
 &\quad - (X_{i_1 j_1} P_{j_1} - R_{i_1 j_1} Q_{j_1}) \frac{\sin \psi_{j_1}}{U_{j_1} \cos \psi_{i_1}}], \\
 \sin \psi_{i_1} &= \frac{U_{\phi p_{i_1}}}{U_{i_1}} + \sum_{j=1}^{m_1} [(R_{i_1 j_1} P_{j_1} + X_{i_1 j_1} Q_{j_1}) \frac{\sin \psi_{j_1}}{U_{i_1} U_{j_1}} + \\
 &\quad + (X_{i_1 j_1} P_{j_1} - R_{i_1 j_1} Q_{j_1}) \frac{\cos \psi_{j_1}}{U_{i_1} U_{j_1}}], \\
 &\dots \dots \dots (7) \\
 U_{i_N} &= \frac{U_{\phi a_{i_N}}}{\cos \psi_{i_N}} + \sum_{j_N=1}^{m_N} [(R_{i_N j_N} P_{j_N} + X_{i_N j_N} Q_{j_N}) \frac{\cos \psi_{j_N}}{U_{j_N} \cos \psi_{i_N}} - \\
 &\quad - (X_{i_N j_N} P_{j_N} - R_{i_N j_N} Q_{j_N}) \frac{\sin \psi_{j_N}}{U_{j_N} \cos \psi_{i_N}}], \\
 \sin \psi_{i_N} &= \frac{U_{\phi p_{i_N}}}{U_{i_N}} + \sum_{j_N=1}^{m_N} [(R_{i_N j_N} P_{j_N} + X_{i_N j_N} Q_{j_N}) \frac{\sin \psi_{j_N}}{U_{i_N} U_{j_N}} + \\
 &\quad + (X_{i_N j_N} P_{j_N} - R_{i_N j_N} Q_{j_N}) \frac{\cos \psi_{j_N}}{U_{i_N} U_{j_N}}].
 \end{aligned}$$

При таких значениях потерь активных мощностей (3) и токов отдельных подсистем (5) частные производные от потерь активных мощностей по мощностям станционных узлов соответствующих подсистем можно представлять в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial P_{m_1}} &= \frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{a_{m_1}}} \cdot \frac{\partial I_{a_{m_1}}}{\partial P_{m_1}} + \frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{p_{m_1}}} \cdot \frac{\partial I_{p_{m_1}}}{\partial P_{m_1}} + \sum_{i=1}^{m_1} \left(\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{a_{i_1}}} \cdot \frac{\partial I_{a_{i_1}}}{\partial U_{i_1}} \cdot \frac{\partial U_{i_1}}{\partial P_{m_1}} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{a_{i_1}}} \cdot \frac{\partial I_{a_{i_1}}}{\partial \psi_{i_1}} \cdot \frac{\partial \psi_{i_1}}{\partial P_{m_1}} \right) + \sum_{i=1}^{m_1} \left(\frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{p_{i_1}}} \cdot \frac{\partial I_{p_{i_1}}}{\partial U_{i_1}} \cdot \frac{\partial U_{i_1}}{\partial P_{m_1}} + \frac{\partial \Pi_{a_1}}{\partial I_{p_{i_1}}} \cdot \frac{\partial I_{p_{i_1}}}{\partial \psi_{i_1}} \cdot \frac{\partial \psi_{i_1}}{\partial P_{m_1}} \right), \\
 &\dots \dots \dots (8) \\
 \frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial P_{m_N}} &= \frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{a_{m_N}}} \cdot \frac{\partial I_{a_{m_N}}}{\partial P_{m_N}} + \frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{p_{m_N}}} \cdot \frac{\partial I_{p_{m_N}}}{\partial P_{m_N}} + \sum_{i_N=1}^{m_N} \left(\frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{a_{i_N}}} \cdot \frac{\partial I_{a_{i_N}}}{\partial U_{i_N}} \cdot \frac{\partial U_{i_N}}{\partial P_{m_N}} + \right.
 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{a_N}} \cdot \frac{\partial I_{a_N}}{\partial \varphi_{i_N}} \cdot \frac{\partial \varphi_{i_N}}{\partial P_{m_N}} \right) + \sum_{i_N=1}^{n_N} \left(\frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{p_{i_N}}} \cdot \frac{\partial I_{p_{i_N}}}{\partial U_{i_N}} \cdot \frac{\partial U_{i_N}}{\partial P_{m_N}} + \frac{\partial \Pi_{a_N}}{\partial I_{p_{i_N}}} \cdot \frac{\partial I_{p_{i_N}}}{\partial \varphi_{i_N}} \cdot \frac{\partial \varphi_{i_N}}{\partial P_{m_N}} \right)$$

Формулы для нахождения частных производных, входящих в выражение (6), приведены в приложении I, а пример расчета относительных приростов потерь предложенным способом — в приложении II.

Нами проведен еще один эксперимент: оптимизированы режимы электрических систем, состоящих из 10; 25 и 51 узлов, используя частные производные, приведенные в [6]. Пользуясь упрощенной формулой частных производных, получились почти одинаковые параметры режима, по сравнению с предыдущими вариантами, экономия при этом 10÷12% машинного времени. Предполагается более ощутимый выигрыш во времени при расчете оптимальных режимов больших электрических систем.

Вывод: в работе дается упрощенная формула для определения частных производных активных потерь по активным мощностям станционных узлов для схем замещения любой размерности с любыми рабочими режимами.

Приложение I

Из выражения (2) можно получить:

$$\frac{\partial \Pi_{a_i}}{\partial I_{a_{i_1}}} = 2 \sum_{i_2=1}^{n_i} R_{m_{i_2}} I_{a_{i_2}} + U_{i_1}^2$$

$$\frac{\partial \Pi_{a_i}}{\partial I_{p_{i_1}}} = 2 \sum_{i_2=1}^{n_i} R_{m_{i_2}} I_{p_{i_2}} - U_{i_1}^2$$

Если принять заданными активные и реактивные мощности узлов, то из (4) получим:

$$\frac{\partial I_{a_{i_1}}}{\partial U_{i_1}} = - \frac{P_{i_1} \cos \varphi_{i_1} + Q_{i_1} \sin \varphi_{i_1}}{U_{i_1}^2},$$

$$\frac{\partial I_{p_{i_1}}}{\partial U_{i_1}} = - \frac{P_{i_1} \sin \varphi_{i_1} - Q_{i_1} \cos \varphi_{i_1}}{U_{i_1}^2},$$

$$\frac{\partial I_{a_{i_1}}}{\partial \varphi_{i_1}} = \frac{-P_{i_1} \sin \varphi_{i_1} + Q_{i_1} \cos \varphi_{i_1}}{U_{i_1}},$$

$$\frac{\partial I_{p_{i_1}}}{\partial \varphi_{i_1}} = \frac{P_{i_1} \cos \varphi_{i_1} + Q_{i_1} \sin \varphi_{i_1}}{U_{i_1}}.$$

* Здесь даются формулы только для первой подсистемы. Для остальных подсистем формулы аналогичны.

Так как ψ_{i_1} малые углы, то можно принять $\sin \psi_{i_1} \approx \psi_{i_1}$. Тогда из (7) получим:

$$\frac{\partial U_{i_1}}{\partial P_{m_1}} = \frac{R_{i,m_1} \cos \psi_{m_1} - X_{i,m_1} \sin \psi_{m_1}}{U_{m_1} \cos \psi_{i_1}};$$

$$\frac{\partial \psi_{i_1}}{\partial P_{m_1}} = \frac{R_{i,m_1} \sin \psi_{m_1} + X_{i,m_1} \cos \psi_{m_1}}{U_{i_1} U_{m_1}}.$$

Приложение II

Пример расчета. Для иллюстрации предложенного метода рассмотрим схему замещения одной энергосистемы, состоящей из десяти узловых точек [6]. Данная энергосистема разделена на три радиально связанные подсистемы. К узлам 0, 2, 5, 7, 9 этой схемы подключены генераторы, а к узлам 1, 3, 4, 6, 8 — нагрузки. В качестве базисного узла выбран генерирующий узел 0, в котором поддерживается постоянное напряжение $U_0 = 220$ кВ. Для заданной схемы замещения рассматривается сетевой режим, приведенный в табл. 1.

Таблица 1

Узлы	П а р а м е т р ы			
	$P, \text{ МВт}$	$Q, \text{ Мвар}$	$U, \text{ кВ}$	$\psi, \text{ град}$
0	150,2	89,9	220,0	0°
1	-110,0	-50,0	210,0	-1° 40'
2	106,0	92,5	215,0	-0° 50'
3	-60,0	-28,0	211,8	-1° 30'
4	-104,0	-51,0	208,6	-1° 55'
5	85,0	-71,1	210,2	-0° 14'
6	-100,0	-48,0	208,1	-2° 9'
7	60,0	136,7	215,1	-2° 27'
8	-94,0	-45,0	210,0	-2° 41'
9	80,0	-5,8	212,1	-1° 23'

Численные значения расчетной Z -матрицы $\dot{U}_{0j}$ и $\dot{U}_{0i}$ отдельных подсистем приводятся в [6]. Для данного режима определяются значения узловых комплексных токов отдельных подсистем:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,5164 + j0,2520 \\ 0,4870 - j0,4367 \\ -0,2798 + j0,1394 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{I}_4 \\ \dot{I}_5 \\ \dot{I}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,4900 + j0,2607 \\ 0,4055 + j0,3374 \\ 0,4719 + j0,2475 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_7 \\ \dot{I}_8 \\ \dot{I}_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2515 - j0,6467 \\ -0,4371 + j0,2350 \\ 0,3778 + j0,0182 \end{bmatrix}.$$

После расчета частных производных, на основании выражения (5), устанавливаем их значения для отдельных подсистем:

$$\frac{\partial \Pi_{\Sigma}}{\partial P_1} = -0,05275; \quad \frac{\partial \Pi_{\Sigma}}{\partial P_2} = 0,03685; \quad \frac{\partial \Pi_{\Sigma}}{\partial P_3} = -0,07312;$$

$$\frac{\partial \Pi_{\Sigma}}{\partial P_0} = -0,07152.$$

На основании предложенной формулы расчета относительных приростов потерь составлены программы на языке «Фортран-4» для ЭВМ «Урал-14Д», позволяющие определить численные значения искоемых частных производных для схем замещения любой сложности.

Таблица 2

Режимы	Число независимых узлов на системе	Число подсистем	Число узлов на каждой подсистеме	Число генерирующих узлов на каждой подсистеме	Точные значения частных производных, подсчитанные по методу [6]	Значения частных производных по упрощенной формуле
1	9	3	3	1	-0,0540	-0,0527
			3	1	0,0410	0,0369
			3	2	-0,0748	-0,0731
			3	2	-0,0759	-0,0715
			13	2	0,0820	0,0800
2	25	2	12	3	0,2008	0,1901
			12	3	0,1360	0,1412
			12	3	0,0891	0,0862
			12	3	0,1067	0,0996

Сравнение результатов, приведенных в табл. 2 показывают, что полученные на основании предложенного упрощенного метода численные значения частных производных близки к результатам, полученным по методу [6].

Армения

Поступило 10.V.1976

И. А. РАЦАРЬЯН

ԷՆԵՐԳԱՆԱԴԱՐԱՐՆԻ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՀԱՐԱՐԵՐԱԿԱՆ ԱՃԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻԱՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա. Վ. Փ. Ն. Փ. Ն. Վ.

Հեղինակը առաջարկվում է էլեկտրական ցանցերում հարաբերական աճերը որոշման պարզեցված բանաձև, երբ էներգահամակարգը բաժանվում է շաղկապներն կապված ենթասխեմաների բազմությամբ

Պարզեցված բանաձևեր կարելի է հաջողությամբ օգտագործել էներգա-համակարգի օպտիմալ ռեժիմների ոչ-զնային հանրահաշվական հավասարումների սխեմայի լուծման առաջին էտապը կազմակերպելու համար, ինչպես նաև էներգահամակարգի օպտիմալ ռեժիմների որոշման հաշվարկներում, երբ խնդիրը չի պահանջում մեծ ճշտություն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. George E. E. Intrasytem transmission losses. IEEE Trans. Vol. 62, March 1943.
2. Kirchmayer L. K., Happ H. H., Stagg G. W., Hohenstein V. P. Direct calculation of transmission loss formula. IEEE Trans. Power Appar. and systems. 1960, № 51.
3. Адоиц Г. Т. К методу расчета потерь мощности в электрических сетях энергосистем. «Электричество». 1962, № 11.
4. Watson R. E., Stadelin W. O. The calculation of incremental transmission losses and the general transmission loss equation. Power Appar. and systems. 1959, № 41.
5. Хачатрян В. С. К вопросу об определении производных от потерь по активным мощностям. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», 1963, № 6.
6. Хачатрян В. С. Метод определения относительных приростов потерь в сетях больших электрических систем. Известия АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1974, № 5.
7. Хачатрян В. С. К вопросу об определении производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям стационарных узлов. Известия АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1970, № 2.
8. Фазылов Х. Ф., Юлдашев Х. Об определении производных потерь в сетях электрических систем. «Известия АН УзССР (серия Т. Н.)», 1970, № 4.

ЭНЕРГЕТИКА

М. С. МКРТЧЯН

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ МЕТОДЕ
ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Эффективное оперативное функционирование системы энергоснабжения тесно связано с достоверностью прогнозирования нагрузок энергосистемы. При методах прогнозирования нагрузок, опирающихся на связь спроса электроэнергии с погодными условиями, существуют трудности и определенная доля ошибки в предсказании погоды. Следовательно, будет справедливым принять, что прогнозирование электрических нагрузок энергосистемы на основе предсказанной погоды приведет к возможному получению двойной ошибки [1]. При оперативном управлении современными энергосистемами требуется простой и достаточно точный метод прогнозирования нагрузки. Этим условиям удовлетворяют методы прогнозирования нагрузок по предыдущим данным. Но и при этих методах, в частности, методе весовых коэффициентов, достоверность прогнозирования остается одним из важных вопросов, которому уделяется особое внимание в процессе предсказания.

В данной статье предлагается новый метод прогнозирования электрических нагрузок энергосистем с помощью весовых коэффициентов. Результаты, полученные предлагаемым методом, сравниваются с результатами известного метода, изложенного в [4].

Постановка задачи. Поскольку основная часть спроса на электроэнергию имеет тенденцию повторяться каждые 24 ч, становится возможным рассматривать временной ряд каждого дня, как один из членов множества временных рядов [1]. Каждый член этого множества является нестационарным процессом [2]. Однако, при рассмотрении нескольких членов множества, суточные графики в сечении одного часа проявляют достаточную стационарность, что позволяет предсказать предстоящий суточный график с использованием метода весовых коэффициентов.

В [4] при прогнозировании вышеуказанным методом предусматривается, что более ранние сутки несут меньшую информацию о возможном изменении процесса в будущем, чем ближайшие сутки. Однако, очевидно, что для понедельника, субботы и воскресенья последние ряды из множества временных рядов не всегда являются носителями наибольшей информации. Возникает необходимость разрабатывать способ правильного определения дней, содержащих в себе более полную информацию о состоянии системы, ввиду чувствительной зависимости точности прогнозирования от используемых дней из предыстории.

Решение задачи и пример. При прогнозировании нагрузок энергосистемы по методу весовых коэффициентов важно определить оптимальное количество дней предыстории. В [1] оно предлагается от семи до девяти суток.

Исследования суточных графиков нагрузок Армянской Энергосистемы по сечениям одного часа, результатом которых являются нормированные корреляционные функции активных мощностей по времени, показывают, что корреляционные функции достигают наибольших значений при $\tau = 7$ дней, далее при $\tau = 1; 2$ и т. д.

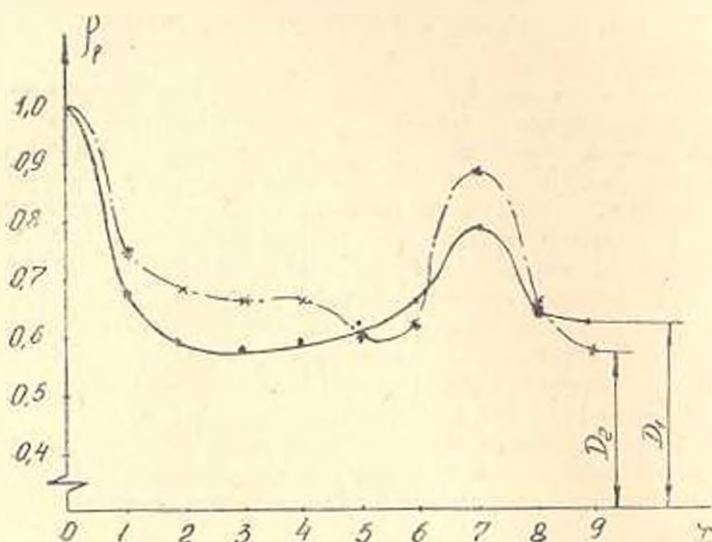


Рис. 1 Нормированная корреляционная функция нагрузок энергосистемы: — 19 часов I кв. 1972 г.; — · — 9 часов IV кв. 1972 г.

Значит, оптимальное количество предыстории n равно семи суткам, и что особенно важно, $(n-6)$ -й день из динамического статистического ряда, который является началом предыстории, больше содержит в себе информации о состоянии системы, чем остальные непосредственно предшествующие дни. Следовательно, можно отметить, что основная часть нагрузок имеет тенденцию повторяться не только через каждые 24 часа, но и через неделю.

Однако проведенные исследования показывают, что в течение года часто бывают случаи, когда непосредственно предшествующий день $(n-й член динамического статистического ряда)$ больше содержит в себе информации о состоянии системы, чем $(n-6)$ -й день.

А именно для ночного времени, начиная с 1 по 7 часов, корреляционные функции достигают наибольших значений при $\tau = 1, 2$, т. е. для предстоящего дня предшествующие первые дни содержат в себе больше информации, чем остальные дни предыстории.

Это объясняется тем, что большинство носителей нагрузок — промышленные предприятия — имеют двухсменный режим работы.

Возникает необходимость сформулировать критерии с точки зрения наибольшего содержания информации об активных нагрузках в отношении n -го или $(n-6)$ -го дней предыстории. С этой целью рассматривается временной ряд активных мощностей неполных дней продолжительностью с 8 по 24 часов в течение года с намерением выявить характер изменения нагрузок на указанный период. Принимая оператор математического ожидания для каждого месяца $M[P(t_n)]$, составляем временной ряд. Из полученной кривой видно, что значения активных мощностей по месяцам плавно уменьшаются, достигая своего минимума не в июне, как это имеет место для полных дней, а в июле, что соответствует пикну отпусков трудящихся, затем плавно увеличивается.

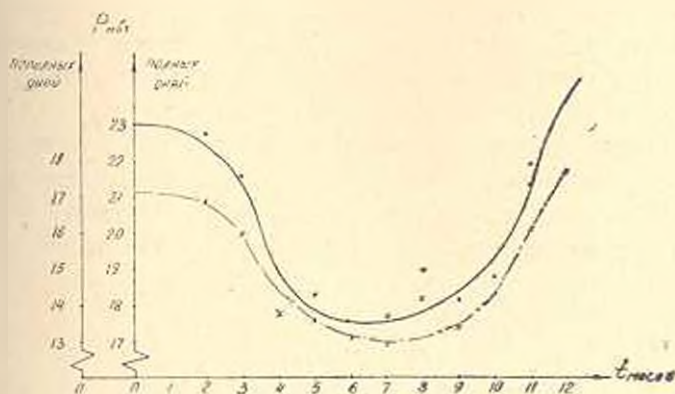


Рис. 2. Сезонное изменение нагрузок энергосистемы:
— кривая полных дней; ---- кривая неполных дней

Принимая во внимание то обстоятельство, что основная часть нагрузок приходится на двухсменный режим работы, можно руководствоваться кривой активных мощностей неполных дней.

Характер изменения нагрузок по месяцам показывает, что в динамическом статистическом ряду искомый день $[n$ -й или $(n-6)$ -й], содержащий в себе больше информации, зависит от периода года и суммарной нагрузки неполного дня

$$\sum P = \sum_{h=8}^{24} P(h).$$

Так, если прогнозируемая величина $P_{t+m}^*(h, t_n)$ по месяцу находится в интервале с января по июль, т. е. $t_n \in T_2$ [где $T_2 = 1, 2, \dots, 7$ (месяцы года)], а $h \in T_1$ [где $T_1 = 1, 2, \dots, 24$ (часы дня)], то при выполнении условия $\sum P_{n-6} < \sum P_n$ $(n-6)$ -й день в динамическом статистическом ряду будет содержать в себе больше информации, чем n -й день. При невыполнении этого условия носителем наибольшей информации о состоянии системы будет n -й день данного ряда.

Однако вышензложенное условие нарушается в случае прогнозирования на понедельник, для которого воскресенье не является наилучшим носителем информации. Очевидно, что предшествующий понедельник больше содержит в себе информации, чем непосредственно предшествующий день — воскресенье.

Если для прогнозируемой величины $P_{t+m}^*(h, t_m)$ [где $t_m \in T_2$, $T_2 = 8, 9, \dots, 12$ (месяцы года) и $h \in T_1$, $T_1 = 1, 2, \dots, 24$ (часы дня)] выполняется условие $\sum P_{n-6} > \sum P_n$, то $(n-6)$ -й день из динамического статистического ряда будет содержать в себе больше информации, чем n -й день. При прогнозировании нагрузки на субботу и воскресенье последнее условие нарушается, и днем, содержащим в себе наибольшую информацию, является соответственно предшествующая суббота или воскресенье.

Таким образом, при определении дня, содержащего наибольшую информацию о состоянии системы, необходимо учитывать суммарную нагрузку неполного дня, период года и день недели.

Итак, когда n -й член из динамического статистического ряда является носителем наибольшей информации о состоянии системы, прогнозирование на предстоящий неполный день, а также на h -й час ($h = 1, 2, \dots, 7$) ночного времени будет произведено по формуле

$$P_{t+m}^*(h) = \sum_{k=1}^s a_k \cdot P_{t+m-k}(h), \quad (1)$$

где t — календарный день; m — шаг прогнозирования из предстоящие сутки; $k = 1, 2, \dots, s$ — число данных, ближестоящих к прогнозируемому дню из динамического статистического ряда, используемых в прогнозе h -го часа $(t+m)$ -го дня; n — число членов динамического статистического ряда и равно 7, причем в его состав входят все дни недели, a_k — весовые коэффициенты*, определяемые всеми данными динамического статистического ряда величин активных нагрузок энергосистемы h -го часа, с применением метода минимума среднеквадратичной ошибки прогнозируемых величин активных нагрузок с действительными. Естественно, с увеличением числа шагов прогнозирования уменьшается достоверность предсказанной нагрузки. Учитывая это, принимаем $m = 1$, т. е. прогнозируется нагрузка на предстоящий первый день. Наилучшее прогнозирование получается, когда количество предысторий в прогнозе равно двум дням.

Если носителем наибольшей информации о состоянии системы является $(n-6)$ -й член, то прогнозирование на неполный день от 8 по 24 часов рекомендуется произвести по формуле:

$$P_{t+m}^*(h) = a_1 P_{n-9}(h) + \sum_{k=2}^s a_k P_{n-k+1}(h), \quad (2)$$

где $s < 6$.

* Методика определения весовых коэффициентов приведена в [6].

На рис. 3 приведена блок-схема программы прогнозирования по весовым коэффициентам, на основании которой составлена программа прогнозирования нагрузок на языке «Фортран IV», которая реализована на вычислительной машине «Урал-14Д».

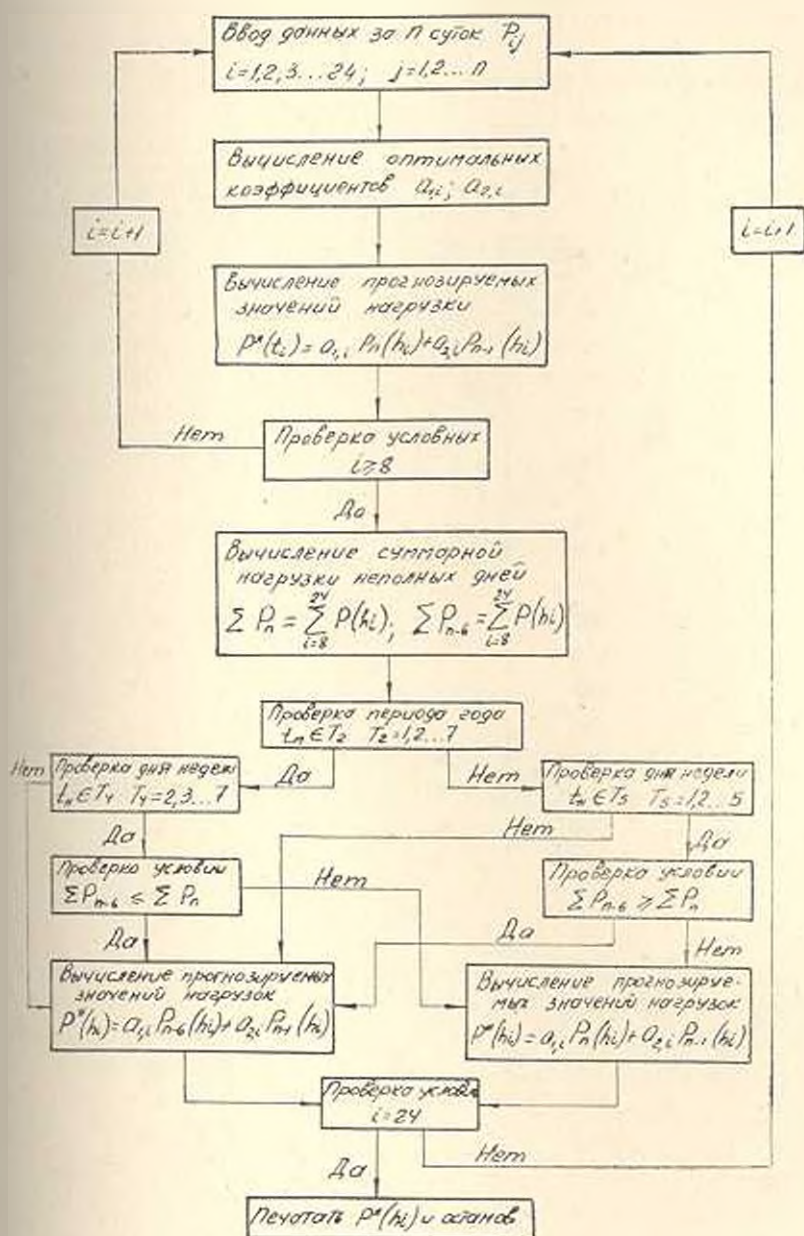


Рис. 3. Блок-схема прогнозирования нагрузок энергосистемы по методу весовых коэффициентов.

В табл. 1 приведены примеры результатов прогнозирования для Армянской энергосистемы по методу весовых коэффициентов по су-

ществующему [4] и предлагаемому способам, причем число используемых дней предыстории равно двум. В табл. 1

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} \left| \frac{P(h) - P^*(h)}{P(h)} \right|^2}$$

—среднеквадратичная ошибка.

Таблица 1

Часы	Прогноз на 27. II 1972 г. (понедельник)		Действ. значения P	Прогноз на 28. II 1972 г. (вторник)		Действ. значения P
	P по существ. способу	P по пред- полагаемому способу		P по существ. способу	P по пред- полагаемому способу	
1	778	778	776	766	766	791
2	775	775	731	747	747	791
3	780	780	731	737	731	791
4	778	778	731	737	737	791
5	780	780	731	739	739	791
6	788	788	751	754	754	791
7	802	802	816	815	815	841
8	855	926	926	893	964	950
9	906	967	972	928	992	1050
10	906	973	973	950	1014	1067
11	888	1003	935	926	1013	1018
12	866	944	970	891	984	957
13	854	902	927	917	994	966
14	866	875	923	890	967	970
15	808	954	948	910	970	960
16	786	962	972	920	984	960
17	823	941	996	939	990	960
18	901	1056	1075	1003	1069	1046
19	970	1043	1100	1061	1108	1086
20	960	1051	1069	1031	1071	1046
21	942	997	1048	987	1031	1036
22	870	1020	1005	913	994	1010
23	774	1014	926	871	919	916
24	790	809	861	793	857	835
σ	10,4%	4,57%	—	6,27%	3,7%	—

Приведенные данные показывают, что предлагаемый метод весовых коэффициентов обеспечивает существенное повышение достоверности прогнозирования нагрузок энергосистемы.

Выводы

1. Нагрузка энергосистемы имеет тенденцию повторяться не только через 24 часа, но и через неделю. Следовательно, для предстоящего прогнозируемого дня необходимо определить: какой день $(n-i)$ или $(n-6)-й$ из прошедших дней является носителем наибольшей информации о состоянии системы.

2. Если носителем наибольшей информации о состоянии системы является $(n-6)-й$ день из динамического статистического ряда, то рекомендуется прогнозирование произвести по формуле (2).

3. Число членов динамического статистического ряда не должно быть меньше семи.

4. Предлагаемый способ определения дня, содержащего наибольшую информацию с состоянием системы, уменьшает среднеквадратичную ошибку и обеспечивает почти одинаковую точность прогнозирования нагрузок для всех дней недели.

5. Простота программы прогнозирования суточного графика нагрузки энергосистемы, малое машинное время расчета, приемлемая точность предсказания для всех дней недели дают основание рекомендовать вышеуказанный метод для прогнозирования нагрузок при оперативном управлении режимами энергосистемы.

АрмНИИЭ

Поступило 25.VI.1976

Դ. Ս. ՄԿՐՏՋՅԱՆ

ԷՆԵՐԳԱՄԱԿԱՐԳԻ ԲԵՌՆՎԱՅՈՒԹՅԱՆ ԳՐԱՖԻԿԻ ԿԱՆԵՈՐՈՇՄԱՆ
ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ԿՇՌԱՅԻՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԻ
ՄԵԹՈԴԻ ԳԵՊԵՐՈՒՄ

Ա. Վ. Փ. Ռ. Ի. Ս. Ի. Մ.

Էներգահամակարգի էֆեկտիվ օպերատիվ ղեկավարումը սերտորեն կապված է առաջիկա օրվա բեռնվածության գրաֆիկի կանխորոշման ճշտության հետ: Այդ գրաֆիկն իրենից ներկայացնում է ոչ ստացիոնար պատահական զրոցեալ Սակայն օրական բեռնվածության գրաֆիկները բաղադրված են զրոց-բաժ մի քանի անդամների (գրաֆիկների) բաժ ժամային կտրվածքի և հայտ են բերում բավարար ստացիոնարություն:

Հոդվածում ցույց է արված, որ ժամանակի շարքերի բաղադրվածությունը վերջրած վերջին երկու շարքերը բաղադրված մյուս անդամների համեմատությամբ միշտ չէ որ պարունակում են առավել շատ ինֆորմացիա էներգահամակարգի վիճակի մասին առաջիկա օրվա համար: Էներգահամակարգի վիճակի մասին առավել շատ ինֆորմացիա պարունակող օրը որոշելու համար առաջադրված է այնպիսի ցուցանիշ, որը հաշվի է առնում ոչ լրիվ օրվա (ժամը 8-րդ մինչև ժամը 24-ը ներառյալ) գումարային բեռնվածությունը, տարվա ժամանակահատվածը և շարավիճակ օրը: Առավել շատ ինֆորմացիա պարու-

նախորդ օրվա ճիշտ որոշումը էապես փոքրացնում է կանխորոշման միջին քառակուսային սխալը և շարաթվա բոլոր օրերի համար համարյա ապահովում է կանխորոշման միևնույն ճշտությունը: Սահմանված ցուցանիշի հիման վրա կադմված է հաշվարկային ալգորիթը, այն «Ֆորտրան—4» լեզվով վերածված է համապատասխան ծրագրի, որն էլ իրացված է «Սերալ—140» թվային հաշվիչ մեքենայի վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мэтьюмен П., Никольсон Г. Методика прогнозирования нагрузок в системах электроснабжения. IEE „Proceedings, the Institution of Electrical Engineers“, 1968, 115, № 10.
2. Наахненко А. Г., Лапа В. Г. Предсказание случайных процессов. Киев, 1971.
3. Бахтян Р. С., Нерсисян Е. А., Хачатрян В. С. Корреляционный метод оценки режимов в узлах городской распределительной сети «Известия ВУЗ-ов. Энергетика», 1972, № 6.
4. Мимедяров О. С., Исмаилов Ф. С. Оперативный прогноз графика нагрузки. Сб. «Разработки математического обеспечения ОАСУ», «Энергия».
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей «Наука», М., 1964.
6. Մկրտչյան Մ. Ս. Прогнозирование графиков нагрузки энергосистемы методом весовых коэффициентов «Известия АН АрмССР (серия техн. наук)», т. XXX, № 2, 1976.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

В. М. СААКЯН, М. Б. ГЕВОРКЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
 ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ

Целью настоящей работы является исследование функций отклика двух параметров оптимизации: y_1 — извлечение меди в концентрат, y_2 — содержание меди в концентрате, — формирующих технологический критерий эффективности для процесса флотации в условиях Кафанской обогатительной фабрики.

Значение y_1 задавалось одной поверхностью отклика:

$$\begin{aligned} y_1 = & -0,0137x_1 + 0,3644605x_2 + 0,247513x_3 - 0,140179x_4 - \\ & - 0,037832x_1x_2 + 0,186633x_1x_3 - 0,055723x_2x_3 - \\ & - 0,107994x_2x_4 + 0,252435x_3x_4. \end{aligned} \quad (1)$$

y_2 — другой поверхностью отклика:

$$\begin{aligned} y_2 = & 0,2380996x_2 - 0,080162x_3 + 0,099972x_4 + 0,200359x_1x_2 - \\ & - 0,55306x_1x_3 - 0,223797x_1x_4 + 0,297438x_2x_3 + \\ & + 0,131153x_2x_4 + 0,164579x_3x_4. \end{aligned} \quad (2)$$

где x_1 — pH среды; x_2 — расход собирателя, г/т; x_3 — расход вспенивателя, г/т; x_4 — плотность пульпы, г/л.

Уравнения (1) и (2) получены в результате обработки данных пассивного эксперимента при плановой производительности установки $Q = 62,6$ т/час, содержании меди в руде $\alpha = 1,2\%$ и адекватно описывают y_1 и y_2 в интервалах варьирования независимых переменных. На первом этапе уравнения (1) и (2) были приведены к каноническому виду:

$$y_1 = -0,02655X_1^2 - 0,159413X_2^2 + 0,176553X_3^2 + 0,00941X_4^2; \quad (3)$$

$$y_2 = 0,343499X_1^2 + 0,084798X_2^2 - 0,059989X_3^2 - 0,368307X_4^2. \quad (4)$$

Центры поверхностей:

$$X_{1c} = -12,08171; \quad X_{2c} = -1,42671; \quad X_{3c} = -0,05505; \quad X_{4c} = 7,63695;$$

$$X_{1c'} = -0,61665; \quad X_{2c'} = -1,104163; \quad X_{3c'} = -0,56607; \quad X_{4c'} = 0,410367.$$

Поверхности относятся к типу «минимакс», так как коэффициенты в уравнениях (3) и (4), являющиеся собственными числами характеристических полиномов уравнений (1) и (2), имеют разные знаки.

Для исследования функций отклика в той части факторного пространства, где производились эксперименты, применяется метод «ридж-анализ», основанный на отыскании условного экстремума функции отклика при ограничениях, накладываемых сферой радиуса R . Метод предполагает решение нелинейной системы неопределенных множителей Лагранжа:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x_i} &= 0, \\ \sum_{i=1}^4 x_i^2 &= R^2, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$F = bx + x^T Bx + \lambda (x^T x - R^2) \quad (6)$$

— функция Лагранжа.

С учетом (6) система (5) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} (B - \lambda J)x &= \frac{1}{2} b, \\ \sum_{i=1}^4 x_i^2 &= R^2, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где

$$B = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{12} & 0 & b_{23} & b_{24} \\ b_{13} & b_{23} & 0 & b_{34} \\ b_{14} & b_{24} & b_{34} & 0 \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix}; \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix};$$

J — единичная матрица; $\sum_{i=1}^4 x_i^2 = R^2$ — уравнение связи (сфера).

Решения системы (7) для фиксированных значений λ являются координатами точек условных экстремумов на сферах радиуса R . Дрейпером [1] было показано, что когда λ выбирается больше большего и меньше меньшего собственного значения матрицы B , то функция достигает абсолютного максимума и абсолютного минимума.

Задаваясь областью варьирования $x_1, \dots, x_4$ (область, ограниченная сферой радиуса $R = 2$), поставим задачу нахождения абсолютного максимума и минимума функций отклика y_1 и y_2 . При этом для нахождения максимумов функций отклика y_1 и y_2 значение λ соответственно выбиралось $\lambda > 0.176553$; $\lambda > 0.343499$, а для минимумов — $\lambda < -0.159413$; $\lambda < -0.368307$. В таблицах 1 и 2 приведены экстремальные значения функций отклика при различных λ и расчетные значения R .

Таблица 1

Міар	$\lambda > \max \mu_i$					$\lambda < \min \mu_i$				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
λ	0,2100	0,2000	0,1920	0,1915	0,1910	-0,2500	-0,2400	-0,2300	-0,2200	-0,2100
x_1	-0,19489	-0,34608	-0,50497	-0,52481	-0,54606	0,43844	0,50037	0,58031	0,68721	0,83706
x_2	1,03840	1,19487	1,38439	1,40360	1,42400	-0,66929	-0,68654	-0,70170	-0,71261	-0,71491
x_3	0,00606	-0,22252	-0,52422	-0,55833	-0,59487	-1,07613	-1,19191	-1,33841	-1,53045	-1,70449
x_4	-0,59712	-0,81348	-1,09900	-1,12977	-1,16264	0,67911	0,76441	0,87448	1,02173	1,22849
$f(x)$	0,54546	0,70536	0,97716	1,01158	1,04944	0,87722	-0,99158	-1,14614	-1,36653	-1,70445
R	1,2136	1,50290	1,91158	1,95797	2,00788	1,50314	1,65127	1,83990	2,08957	2,43745

Таблица 2

Міар	$\lambda > \max \mu_i$					$\lambda < \min \mu_i$				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
λ	0,3700	0,3600	0,3520	0,3515	0,3510	-0,4400	-0,4300	-0,4200	-0,4100	-0,4000
x_1	-0,22130	-0,42489	-0,94173	-1,00868	-1,08459	0,53925	0,63263	0,77159	0,97812	1,31624
x_2	0,45178	0,52723	0,59593	0,71702	0,74085	-0,60443	-0,67949	-0,78256	-0,93372	-1,17839
x_3	0,31709	0,54521	1,11438	1,87777	1,27094	0,63146	0,73281	0,87317	1,08060	1,41853
x_4	0,35262	0,49158	0,83154	1,87515	0,92455	-0,00608	0,01177	0,03766	0,07750	0,14461
$f(x)$	0,23555	0,42455	1,24292	1,38493	1,55602	-0,55874	-0,71128	-0,95435	-1,38151	-2,25161
R	0,69135	0,99870	1,81780	1,92568	2,04824	1,02378	1,18282	1,40413	1,73269	2,27029

По результатам таблицы 1 и 2 определены координаты точек абсолютных максимумов:

(— 0,52481; 1,40360; — 0,55833; — 1,12977),

(— 1,00868; 0,71702; 1,18777; 0,87515)

и минимумов:

(0,58031; — 0,70170; 1,33841; 0,87448).

(0,97812; — 0,93372; 1,0806; 0,0775)

функций y_1 и y_2 , когда область варьирования независимых переменных ограничивалась сферой радиуса $R = 2$.

Экстремальные значения y_1 и y_2 в натуральном масштабе соответственно равны:

$$y_{1\max} = 93,73\%; \quad y_{2\max} = 20,89\%;$$

$$y_{1\min} = 87,28\%; \quad y_{2\min} = 14,89\%.$$

Результаты проведенного исследования указывают на принципиальную возможность повышения качественных показателей процесса флотации на 1,5—2% при внедрении системы управления флотацией в условиях Кафанской обогатительной фабрики.

ВЦ АН АрмССР и ЕРГУ

Поступило 29.VII.1976

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Draper N. R. „Ridge analysis" of Response Surfaces. Technometrics, v. 5, 1963, № 4
2. Иалимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. Изд. «Наука», 1965.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Ш. А. ЭЛМЯН

ОБ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ
СЛОЖНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

При решении задачи оптимизации режимов работы электростанций в сложной энергосистеме неизбежные погрешности в определении входной информации, характеристик относительных приростов и т. д. приводят к необходимости оценки устойчивости полученного решения, т. е. к исследованию свойств системы управления вырабатывать правильные решения в некотором диапазоне искажений параметров задачи. Определению погрешностей результатов расчета оптимальных режимов, вызванных ошибками в исходных данных, посвящены работы [1], [2] и др., где описываются программы, моделирующие случайные ошибки исходных данных и приводят результаты расчетных исследований на ЦВМ.

В настоящей работе рассматривается оценка устойчивости оптимального решения задачи управления режимами работы сложной энергосистемы на основе методов нелинейного программирования.

Пусть рассматриваемая управляемая энергосистема содержит K ТЭС и $L-K$ ГЭС. В качестве управляющих параметров выбираются мощности электростанций в областях управления

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad (i = 1, 2, \dots, L) \quad (1)$$

где $P_i^{\min}$, $P_i^{\max}$ — минимальные и максимальные допустимые значения нагрузок электростанций.

Как известно, задачу управления режимами энергосистемы (при краткосрочном регулировании) в детерминированной постановке можно сформулировать так: найти управление из допустимой области (1), которое доставляет минимум функции

$$\sum_{i=1}^L H_i(P_i), \quad (2)$$

при котором удовлетворяются: условия баланса мощностей в каждом интервале времени

$$\sum_{i=1}^L P_i - \pi(\bar{P}) - \sum_{j=1}^M P_j = 0, \quad (3)$$

условие баланса воды ГЭС

* В порядке обсуждения.

$$\vartheta_l(P_l) \Delta t - C_l = 0, \quad (l = K+1, \dots, L) \quad (4)$$

Здесь H — затраты на топливо ТЭС; π — суммарные потери активной мощности; ϑ_l — фактический расход воды за единицу времени; $\sum P_n$ — нагрузка системы; C_l — заданный расход воды ГЭС за рассматриваемый период.

Допустим, что управляющие переменные P_l ($l = 1, 2, \dots, L$) получают малые возмущения вблизи оптимума $\bar{P}^*$. В этом случае формулу (1) можно представить в виде

$$g_l(\bar{P}) + \varepsilon_l b_l(\bar{P}) \geq 0, \quad (l = 1, 2, \dots, 2L) \quad (1^*)$$

где

$$g_l(\bar{P}) = P_l - P_l^{\text{min}};$$

$$g_{l+L}(\bar{P}) = P_l^{\text{max}} - P_l; \quad l = 1, 2, \dots, L.$$

Условия баланса мощностей и воды (3), (4) можно представить в виде

$$h_l(\bar{P}) + \varepsilon_{l+K} d_l(\bar{P}) = 0, \quad (l = 1, 2, \dots, L-K+1)$$

где

$$h_l(\bar{P}) = \vartheta_{l+K}(P_{l+K}) \Delta t - C_{l+K}; \quad (l = 1, 2, \dots, L-K) \quad (4^*)$$

$$h_{L-K+1} = \sum_{i=1}^L P_i - \pi(\bar{P}). \quad (3^*)$$

Целевую функцию (2) можно записать в виде

$$H(\bar{P}) + \varepsilon_0 a_0(\bar{P}), \quad (2^*)$$

где $|a_0(\bar{P})|$, $\{b_l(\bar{P})\}$, $\{d_l(\bar{P})\}$ — скалярные функции от $\bar{P}$, а $\{\varepsilon_k\}$ — числа. Для краткости эту задачу будем называть A -задачей, а задачу, которая получается при $\varepsilon = 0$, — A -задачей.

При оценке $|\bar{P}(\varepsilon) - \bar{P}^*|$ необходимо сформулировать достаточные условия для того, чтобы вектор $\bar{P}^*$ был решением задачи A , где $\bar{P}(\varepsilon)$ — локальный минимум задачи A , $\bar{P}^*$ — локальный минимум задачи A [1].

Теорема 1. Для того, чтобы $\bar{P}^*$ был изолированным локальным минимумом задачи A , где $H(\bar{P})$, $\{g_l(\bar{P})\}$, $\{h_l(\bar{P})\}$ — дважды дифференцируемые функции, достаточно, чтобы существовали такие векторы $\bar{U}^*$ и $\bar{W}^*$, чтобы тройка векторов $(\bar{P}^*, \bar{U}^*, \bar{W}^*)$ удовлетворяла ограничениям:

$$g_i(\bar{P}^*) = 0; \quad i = 1, 2, \dots, 2L \quad (5)$$

$$h_l(\bar{P}^*) = 0; \quad l = 1, 2, \dots, L - K + 1 \quad (6)$$

$$u_i^* g_i(\bar{P}^*) = 0; \quad i = 1, 2, \dots, 2L \quad (7)$$

$$u_i^* \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, 2L \quad (8)$$

$$\text{grad } L(\bar{P}^*, \bar{U}^*, \bar{W}^*) = 0, \quad (9)$$

где

$$L(\bar{P}, \bar{U}, \bar{W}) = H(\bar{P}) - \sum_{i=1}^L u_i g_i(\bar{P}) + \sum_{l=1}^{L-K+1} w_l h_l(\bar{P}), \quad (10)$$

и для каждого вектора $\bar{y} \neq 0$, для которого выполняются соотношения:

$$(\bar{y}, \text{grad } g_i(\bar{P}^*)) = 0 \quad \text{при } i \in D^* = \{i | u_i^* > 0\};$$

$$(\bar{y}, \text{grad } g_i(\bar{P}^*)) > 0; \quad i \in B^* = D^*,$$

$$\text{а } B^* = \{i | g_i(\bar{P}^*) = 0 \text{ и } (\bar{y}, \text{grad } h_l(\bar{P}^*)) = 0, \\ (l = 1, 2, \dots, L - K + 1)\}$$

было бы справедливо неравенство

$$y' [\text{grad}^2 L(\bar{P}^*, \bar{U}^*, \bar{W}^*)] y > 0. \quad (11)$$

Теперь для оценки устойчивости оптимального решения можно сформулировать следующую теорему [3].

Теорема 2. (Возмущение оптимума).

Если: 1) функции $H(\bar{P})$, $\{g_i(\bar{P})\}$, $\{h_l(\bar{P})\}$ — дважды дифференцируемы; 2) в точке $\bar{P}^*$ выполнены достаточные условия (5) — (9) и (11) теоремы 1 [при этом, если $g_i(\bar{P}^*) = 0$, то выполнено $u_i^* > 0$]; 3) векторы $\text{grad } g_i(\bar{P}^*)$, $i \in B^*$, $\text{grad } h_l(\bar{P}^*)$ — линейно независимы ($l = 1, \dots, L - K + 1$), — то тогда:

а) векторы $\bar{U}^*$, $\bar{W}^*$ — единственны;

б) $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} [\bar{P}(\varepsilon), \bar{U}(\varepsilon), \bar{W}(\varepsilon)] = [\bar{P}^*, \bar{U}^*, \bar{W}^*];$

в) справедлива аппроксимация

$$\begin{bmatrix} \bar{P}(\varepsilon) - P^* \\ \bar{U}(\varepsilon) - U^* \\ \bar{W}(\varepsilon) - W^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \nabla^2 L^* & -G^* & -H^* \\ U^* (G^*)^T & \text{diag}(g_i^*) & 0 \\ (H^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\nabla a_0^* & U^* B^* & -W^* D^* \\ 0 & \text{diag}(-u_i^* b_i^*) & 0 \\ 0 & 0 & \text{diag}(-d_i^*) \end{bmatrix} \cdot \varepsilon, \quad (12)$$

где

$$U^* = \text{diag}(u_i^*); \quad G^* = (\nabla g_1^*, \dots, \nabla g_{2L}^*); \quad H^* = (\nabla h_1^*, \dots, \nabla h_{L-K+1}^*);$$

$$b^* = (\nabla b_1^*, \dots, \nabla b_{2L}^*); \quad W^* = \text{diag}(w_i^*); \quad D^* = (\nabla d_1^*, \dots, \nabla d_{L-K+1}^*);$$

г) Изменение оптимального значения целевой функции задается выражением

$$H(\bar{P}(\varepsilon)) - H(\bar{P}^*) = \sum_{i=1}^L \varepsilon_i u_i b_i(\bar{P}^*) + \sum_{i=1}^{L-K+1} \varepsilon_{i+K} w_i d_i(\bar{P}^*). \quad (13)$$

Таким образом, при помощи (12) дается оценка искажения оптимального решения P^* поставленной задачи, а при помощи формулы (13) представляется дисперсия оптимального значения целевой функции при малых возмущениях параметров состояния системы.

Для выяснения структуры матриц, входящих в (12), представим целевую функцию (2*) в виде

$$H(\bar{P}) = l_1 P_1^2 + l_2 P_2^2 + \varepsilon_0 (a_0^{(1)} P_3 + a_0^{(2)} P_3)$$

функцию ограничений (1*) и (4*) в виде

$$g(P_1) = P_1^{\max} - P_1 + \varepsilon_1 b,$$

$$h = P_1 + P_2 + \text{const} + \varepsilon_2 c.$$

При этом блоки матриц в (12) принимают вид:

$$\nabla^2 L = \begin{pmatrix} l_1 & 0 \\ 0 & l_2 \end{pmatrix}; \quad G^* = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix}; \quad H^* = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix}; \quad \nabla a_0^* = \begin{pmatrix} a_0^{(1)} \\ a_0^{(2)} \end{pmatrix},$$

и тогда можно записать

$$\begin{bmatrix} \nabla^2 L & -G^* & -H^* \\ U^* (G^*)^T & \text{diag}(g_i^*) & 0 \\ (H^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\nabla a_0^* & U^* B^* & -W^* D^* \\ 0 & \text{diag}(-u_i^* b_i^*) & 0 \\ 0 & 0 & \text{diag}(-d_i^*) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} l_1 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & l_2 & 0 & -1 \\ -u^* & 0 & g^* & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -a_0^{(1)} & 0 & 0 \\ -a_0^{(2)} & 0 & 0 \\ 0 & -u^*b & 0 \\ 0 & 0 & -c \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{g^*(a_0^{(2)} - a_0^{(1)})}{\Delta} & \frac{-u^*b}{\Delta} & \frac{l_2 g^* c}{\Delta} \\ \frac{g^*(a_0^{(1)} - a_0^{(2)})}{\Delta} & \frac{u^*b}{\Delta} & \frac{(u^* + l_1 g^*)c}{\Delta} \\ \frac{-u^*(a_0^{(1)} + a_0^{(2)})}{\Delta} & \frac{(l_1 + l_2)u^*b}{\Delta} & \frac{u^* l_2 c}{\Delta} \\ \frac{l_2 g^* a_0^{(1)} + (u^* + l_1 g^*)a_0^{(2)}}{\Delta} & \frac{-l_1 u^* b}{\Delta} & \frac{-l_2 (l_1 g^* + u^*)c}{\Delta} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

где $\Delta = l_1 g^* + u^* + l_2 g^*$, а величины, обозначенные звездочкой, нетрудно определить из необходимых условий первого порядка: $\text{grad } L = 0$, которые в данном случае представляют систему из четырех уравнений относительно P_1^* , P_2^* , U^* , W^* при $\varepsilon = 0$.

В полученном выражении (14) элементы первых двух строк являются коэффициентами при ε_0 , ε_1 , ε_2 в аппроксимации $|\bar{P}(\varepsilon) - \bar{P}^*|$ в формуле (12). Элементы следующих двух строк являются коэффициентами в аппроксимации множителей Лагранжа $|\bar{U}(\varepsilon) - \bar{U}^*|$, $|\bar{W}(\varepsilon) - \bar{W}^*|$ соответственно.

ЕрПИ им К. Маркса

Поступило 15.IX.1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В. А., Блавицкий Б. Н., Ковалев В. Д., Рокотян Н. С., Федорова Д. А. Анализ погрешности при решении с помощью ЦВМ задачи оптимального распределения нагрузок. «Электричество», 1970, № 4.
2. Куров Б. Н., Шаханов В. С. Чувствительность оптимального распределения нагрузок к погрешностям информации. «Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт», 1971, № 1.
3. Фашко А., Мик-Корник Г. Нелинейное программирование. М., 1972.

Форма стружки как критерий оптимизации геометрических параметров реза при точении цветных металлов. Касьян М. В., Багдасарян Г. Б., Мовсесян Н. Г. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, » 3, 1977.

3-7.

В статье показано, что одним из основных элементов, способствующих снижению себестоимости продукции и повышению стойкости и долговечности инструмента, является оптимизация геометрии реза, с которой связан ряд технологических показателей: качество поверхности, износ реза, виброустойчивость системы СПИД и т. д.

Оптимальные геометрические параметры резцов до сих пор определялись, исходя из силы резания или шероховатости поверхности с использованием математической модели обрабатываемости, в зависимости от элементов геометрии γ , ϕ , λ и σ .

Авторы показали, что геометрию реза можно оптимизировать по оптимальной форме стружки (диаметру скрутки D). Опыты проводились при точении цветных металлов резцами, оснащенными пластинками ВК8, по планированию эксперимента типа 2⁴. Проведенные исследования, а также полученные результаты дают основание утверждать, что метод оптимизации по форме стружки практичен и дает возможность быстро устанавливать те геометрические параметры, при которых основные технологические показатели получаются наилучшими. Установлено, что диаметр скрутки $D = 5$ мм полученных стружек при обработке дюрала Д16 и латуни ЛС59 можно считать наилучшим критерием оптимизации геометрических параметров реза.

Илл. 2. Табл. 5. Библ. 4 назв.

Аналитическая оценка влияний определяющих параметров на механические релаксационные автоколебания при трении. Манвелян Э. А., Гагян Г. С., Ногосян А. К. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 3, 1977, 8-12.

Рассматривается вопрос обеспечения устойчивости медленных (скользящих) перемещений и точности перестановки узлов станков с программным управлением в связи с возникновением релаксационных автоколебаний при трении.

Проведен математический анализ влияния определяющих параметров на силу трения покоя с целью нахождения оптимальной совокупности значений параметров, приводящих к максимизации и минимизации функции.

Для возможного уменьшения релаксационных автоколебаний с помощью полученной зависимости можно подобрать пару трения, качество обработки поверхностей, геометрические размеры и конструктивные параметры узла трения так, чтобы все это в совокупности привело к возможному наибольшему уменьшению значений силы трения покоя.

Илл. 2. Библ. 2 назв.

Определение законов регулирования напряжений электродвигателей многодвигательного электроавтомобиля при повороте. Дилалян Э. М., Абгаб-
ян Э. М., Астабатьян Г. К. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)»,
т. XXX, № 3, 1977, 13—19.

Рассмотрены вопросы, связанные с определением законов управ-
ления многодвигательным электроприводом электроавтомобиля на основании
нахождения сил и реакций, действующих на колеса электроавтомобиля при
круговом движении.

Получены выражения для определения изменений напряжений на
тяговых асинхронных двигателях колес в зависимости от угла поворота
рулевого колеса и скорости движения, при работе в режиме постоянства
абсолютного скольжения. После аппроксимации этих выражений полу-
чено уравнение, из оснований которого возможна реализация регулятора.

Приведена структурная схема управления многодвигательным элек-
троприводом электроавтомобиля при работе в режиме постоянства абсолют-
ного скольжения.

Ил. 2. Библ. 4 назв.

*Проводимости пазового и лобового рассеяния обмотки статора
асинхронной машины.* Никитин Н. Г., Иондем М. Е., Маилан А. Л. «Из-
вестия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 3, 1977, 20—27.

Разработан способ опытного определения удельных проводимостей
пазового и лобового рассеяния при вынутах роторе. Получены резуль-
таты для серийных асинхронных двигателей, имеющих один и тот же
лист, но разные длины сердечника статора. На основе опытных данных
производится оценка существующих методов расчетного определения
указанных проводимостей.

Ил. 2. Табл. 1. Библ. 5 назв.

*Определение относительных приростов потерь в сетях энергосистем
методом декомпозиции.* Балабекян М. А. «Известия АН АрмССР (серия
Т. Н.)», т. XXX, № 3, 1977, 28—36.

Предлагается упрощенная формула расчета относительных прирос-
тов потерь в сетях энергосистем методом декомпозиции, которая обеспе-
чивает минимизацию оперативной памяти ЭВМ и объема вычислитель-
ных работ. Упрощенная формула частных производных может быть ис-
пользована при организации первой стадии решения нелинейных алгебри-
ческих уравнений оптимальных режимов энергосистем методом подсистем,
а также и других расчетах, не требующих больших точностей.

Табл. 2. Библ. 8 назв.

Повышение достоверности прогнозирования графика нагрузки энергосистемы при методе весовых коэффициентов. Мкртчян М. С. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXX, № 3, 1977, 37—44.

Эффективное управление энергосистемой тесно связано с точностью прогнозирования суточного графика нагрузок энергосистемы, который представляет нестационарный процесс. Однако при рассмотрении нескольких членов из множества суточных графиков, в сечении одного часа выявляется достаточная стационарность.

В статье показано, что последние ряды из множества временных рядов не всегда являются носителями наибольшей информации о состоянии системы. Для правильного определения дней, содержащих в себе наибольшую информацию о состоянии системы, определен критерий, учитывающий суммарную нагрузку полного дня, периода года и дней недели. Правильный выбор информационного дня существенно влияет на точность прогнозирования, уменьшает среднеквадратичную ошибку и обеспечивает почти единичную точность прогнозирования нагрузок для всех дней недели.

На основании сформулированного критерия составлена программа прогнозирования нагрузок на языке «Фортран IV», которая реализована на ЭВМ «Урал-14Д».

Илл. 3. Табл. 1. Библ. 6 назв.

УДК 621.765:517.5

О возможности повышения технологических показателей процесса флотации Саякян В. М., Геворкян М. Б. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXX, № 3, 1977, 45—48.

Проведено исследование функций отклика для двух параметров оптимизации, формирующих технологический критерий эффективности процесса флотации. В качестве метода исследования применен «ридж анализ». Определены координаты точек абсолютных экстремумов исследуемых функций, когда область варьирования независимых переменных ограничена сферой радиуса $R = 2$.

Табл. 2. Библ. 2 назв.

УДК 621.311:621.311.016.35

Об оценке устойчивости оптимального решения задачи управления режимами работы сложной энергосистемы. Элязиан III, А. «Известия АН АрмССР (серия Т. II.)», т. XXX, № 3, 1977, 49—53.

Рассматривается оценка устойчивости оптимального управления режимами работы сложной энергосистемы на основе методов нелинейного программирования. На основе известных теорем проводится аппроксимация задачи вблизи оптимума. Приводится пример построения решения рассматриваемой задачи для системы частного вида.

Библ. 3 назв.

Ք Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

62

ՄԻՖԻՆԱՇԻՆԱՅՐՈՒՆ

- Մ. Վ. Կասյան, Շ. Բ. Բաղդասարյան, Ն. Գ. Մովսիսյան. Տաշնգի ձևը որպես կտրիճ լավա-
դույն հրկրաբանական որոշման շահանքի՝ զանազան մետաղների մշակման . 3
Ս. Ա. Մանվելյան, Գ. Ս. Դուլյան, Ա. Կ. Պողոսյան. Շիման ժամանակ մեխանիկական
ակտիվացման ինքնատեսակետների վրա սրտիչ պարամետրների ազդեցության
անսխիստիկ զննչատուժը . 8

ԼՆԻԿՐԱՆԻՆԻԿԱ

- Է. Մ. Դիլանյան, Է. Մ. Ազարյան, Գ. Կ. Առաքելյան. Պատշաճ ժամանակ բազմա-
շարժիչային էլեկտրոմոթիլի էլեկտրաշարժիչների լարումների կարգավորման օրենք-
ների որոշումը . 12
Ն. Գ. Նիկիտյան, Մ. Ե. Ռոնդիմ, Ա. Լ. Մալիյուն. Ապառնիսի մեքենայի ստատորի փա-
թույթի փորձային և ճակատային ջրման հազարավանդայինները . 20

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

- Մ. Ա. Բալաբեկյան. Էներգահամակարգի ցանցերում կորուստների հարաբերական աճների
որոշումը զեկոնպոզիցիայի մեթոդով . 28
Մ. Ս. Մկրտչյան. Էներգահամակարգի քանակաբանական դրաժիկի կախարարման ճշտության
բարձրացումը կոսային զարմակիցների մեթոդի օգտագում . 32

ԳԻՎԱԿԱՆ ԵՐԵՐ

- Վ. Մ. Սանակյան, Մ. Բ. Գևորգյան. Ֆլուորային պրոցեսի ախտաբանական ցուցանիշ-
ների բարձրացման հետազոտության վերաբերյալ . 45
Շ. Շ. Էլմայան. Բարձր էներգահամակարգի աշխատանքի սկիզբների կառավարման խնդրի
օպտիմալ լուծման կայունություն զննչատման շարքը . 49

СОДЕРЖАНИЕ

Стр

Машиностроение

- М. В. Касеян, Г. Б. Багдасарян, Н. Г. Мовсисян. Форма стружки как критерий оптимизации геометрических параметров резца при точении цветных металлов 3
- Э. А. Манеелян, Г. С. Гагян, А. К. Погосян. Аналитическая оценка влияния определяющих параметров на механические релаксационные автоколебания при трении 8

Электротехника

- Э. М. Дилинян, Э. М. Агабян, Г. К. Астабацин. Определение законов регулирования напряжений электродвигателей многодвигательного электро-мобиля при повороте 13
- Н. Г. Никитян, М. Е. Иондем, А. Л. Машлян. Проводимости пазового и лобового рассеяния обмотки статора асинхронной машины 20

Энергетика

- М. А. Балабегян. Определение относительных приростов потерь в сетях энергосистем методом декомпозиции 28
- М. С. Мкртчян. Повышение достоверности прогнозирования графика нагрузки энергосистемы при методе весовых коэффициентов 37

Научные заметки

- М. В. Саакян, М. Б. Геворкян. О возможности повышения технологических показателей процесса флотации 45
- Ш. А. Элямян. Об оценке устойчивости оптимального решения задачи управления режимами работы сложной энергосистемы 49

