

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՂԵԴԱ

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Ալյոնկ Շ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ալեկսեևսկի Վ. Վ.,
Սեանյան Ա. Կ., Դոբրոսոն Տ. Ա., **Խղիազարյան Ի. Վ.** (Զատրյան Մ. Ա., Նազարով Ա. Գ., Տեր-
Ազարև Ի. Ա., Փինաձյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ))
Պատասխանատու քարտուղար Ստեփանյան Չ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ редактор), Алюнц Г. Т. (зам. ответ редактора), Алексеевский
В. В., Анянц А. К., Гороян Т. А. **Хгиязаров И. В.** (Затрян М. А., Назаров А. Г.,
Пинадзян В. В. (зам. ответ редактора), Тер-Азарьян И. А.
Ответственный секретарь: Степанян З. К.

Խմբագրության հասցեն՝ Երևան—1, Արա՛վյան փող., 15-

Адрес редакции: Ереван—1, ул. Абовяна, 15

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Д. О. МЕЛКУМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ ПРОИЗВОДНОЙ АРГУМЕНТА

1. **Постановка задачи.** Из геометрической интерпретации принципа аргумента (рис. 1, а) очевидно, что равномерное изменение частоты вдоль мнимой оси приводит к неравномерному изменению аргумента. В бесконечном интервале частоты скорость изменения аргумента (производная аргумента) растет от нуля до некоторого значения и снова падает до нуля. При этом экстремальное значение производной аргумента обратно пропорционально действительной части корня характеристического полинома (рис. 1, б), а величина частоты, при которой производная аргумента достигает экстремального значения, равна мнимой части корня (рис. 1, в). Эти положения и лежат в основе метода производной аргумента.

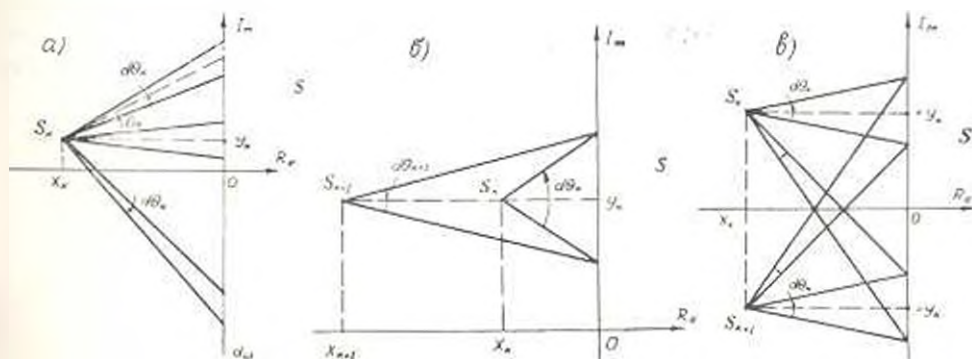


Рис. 1.

2. **Свойства производной аргумента.** Рассмотрим характеристический полином системы регулирования

$$D(s) = \sum_{k=0}^n a_k s^{n-k} = a_n \prod_{k=1}^n (s - s_k), \quad (1)$$

где a_k — действительные числа, s_k — корни полинома. Положим в (1) $s = j\omega$,

$$D(j\omega) = a_0 \prod_{i=1}^n (j\omega - s_i) = u(\omega) + jv(\omega), \quad (2)$$

тогда

$$\arg D(j\omega) = \sum_{i=1}^n \arg (j\omega - s_i) = \arctg \frac{v(\omega)}{u(\omega)}. \quad (3)$$

Пусть

$$\theta_k = \arg (j\omega - s_k) \quad \text{и} \quad \theta = \arg D(j\omega).$$

Тогда из (3) получим:

$$\theta = \sum_{k=1}^n \theta_k = \arctg \frac{v(\omega)}{u(\omega)}. \quad (4)$$

Следовательно

$$\theta' = \sum_{k=1}^n \theta'_k = \frac{uv' - vu'}{u^2 + v^2} \quad (5)$$

(если θ_k существуют), где производная взята относительно частоты.

Из рис. 1, а следует, что

$$\theta_k = \arctg \frac{\omega - y_k}{-x_k}, \quad (6)$$

откуда

$$\theta'_k = \frac{d\theta_k}{d\omega} = \frac{-x_k}{x_k^2 + (\omega - y_k)^2}. \quad (7)$$

Необходимо заметить, что при $x_k = 0$ функция (6) неопределена и, значит, не имеет производной (7). Поэтому формулы (5) и (7) справедливы только в случаях, когда $x_k \neq 0$, т. е. при отсутствии чисто мнимых корней.

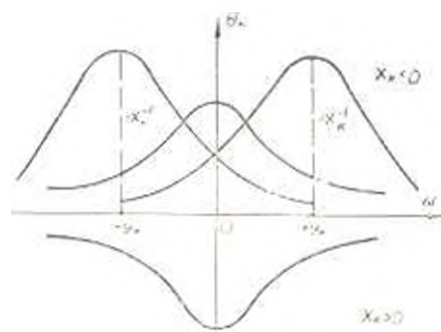


Рис. 2.

В наиболее характерных случаях графики зависимости (7) приведены на рис. 2, откуда нетрудно установить следующие свойства компонент производной аргумента. Если все корни многочлена расположены в левой полуплоскости ($x_k < 0$), то в бесконечном интервале частоты:

А. Функции $\psi_k(\omega)$ положительно-определенные:

В. $\max \psi_k(\omega) = -\frac{1}{x_k}$ при $\omega = y_k$;

С. При неограниченном приближении корня к мнимой оси экстремальное значение функции $\psi_k(\omega)$ безгранично возрастает;

Д. $\lim_{\omega \rightarrow \infty} \psi_k(\omega) = 0$;

Е. Площадь, расположенная между кривой $\psi_k(\omega)$ и осью абсцисс, равна π , т. е.

$$\int_0^{\infty} \psi_k(\omega) d\omega = \pi.$$

Свойства А, В, С, Д очевидны из выражения (7), а свойство Е следует из принципа аргумента [1] или можно получить непосредственным интегрированием соотношения (7). Для свойств А и Е легко показать и обратное. Если $\psi_k(\omega)$ положительно-определенная функция или удовлетворяет условию Е, то соответствующий корень расположен в левой полуплоскости. Это непосредственно следует из формулы (7).

Некоторые аналогичные свойства можно получить для производной аргумента. Из формулы (5) на основании свойств А, С, Д, Е следует (при $x_k < 0$):

Г. Функция $\psi'_k(\omega)$ положительно-определенная и четная;

З. При неограниченном приближении корней к мнимой оси наибольшее значение функции $\psi'_k(\omega)$ безгранично возрастает;

И. $\lim_{\omega \rightarrow \infty} \psi'_k(\omega) = 0$;

К. Площадь, расположенная между голографом производной аргумента и осью частот, равна π , т. е.

$$\int_0^{\infty} \psi'_k(\omega) d\omega = \pi.$$

Обратное, вообще говоря, имеет место только в случае К, на основе которого установлен новый критерий устойчивости.

3. Критерий устойчивости. Докажем справедливость следующего утверждения: если площадь, расположенная между голографом производной аргумента (5) и абсциссой равна π , то система устойчива. Действительно, из принципа аргумента следует, что

$$\int_0^{\infty} |\psi'_k(\omega)| d\omega = \pi. \quad (8)$$

Из формулы (5) имеем

$$n\pi = \int_{-\infty}^{\infty} \theta'(\omega) d\omega = \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} \theta_k'(\omega) d\omega \leq \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} |\theta_k'(\omega)| d\omega = n\pi.$$

Следовательно

$$\int_{-\infty}^{\infty} \theta_k'(\omega) d\omega = \pi, \quad \text{т. е. } x_k < 0.$$

Таким образом, необходимое и достаточное условие устойчивости системы имеет следующий вид:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \theta'(\omega) d\omega = n\pi, \quad (9)$$

где n — степень характеристического полинома.

Так как $\theta'(\omega)$ является четной функцией от частоты, то условие (9) можно привести к более простому виду:

$$\int_0^{\infty} \theta'(\omega) d\omega = \frac{n\pi}{2}. \quad (10)$$

Соотношение (10) можно использовать и качестве как аналитического, так и графического критерия. Однако применение (10) в качестве аналитического критерия нецелесообразно, так как интегрирование функции (5) для больших n представляет трудоемкую задачу. Поэтому его лучше использовать в качестве графического критерия. Хотя и построение годографа производной аргумента не дает преимуществ относительно годографа Михайлова в качестве графического критерия, однако при помощи наибольшего значения производной аргумента представляется возможность оценить параметры качества переходного процесса. Заметим, что при нарушении условия (10) система будет либо нейтральна, либо неустойчива. При этом если $\theta'(\omega)$ знакопеременна в бесконечном интервале частоты, то система неустойчива [существует отрицательное слагаемое в сумме (5)]. В противном случае корни многочлена (1) необходимо сдвинуть вправо на величину $\varepsilon =$

$\varepsilon = \frac{1}{n \sup \theta'(\omega)}$. Если для полученного многочлена $\theta'(\omega)$ знакпостоянна, то система неустойчива, в противном случае — нейтральна.

4. Оценки показателей качества переходного процесса. Докажем, что степень устойчивости линейных систем не меньше обратной величины наибольшего значения производной аргумента, т. е.

$$\delta \geq \frac{1}{\sup \theta'(\omega)}. \quad (11)$$

Действительно, для устойчивых систем b' и θ_k являются положительно определенными функциями, поэтому

$$\sup b'(\omega) = \sup \sum_{k=1}^n b'_k(\omega) > \sup b'_k(\omega). \quad (12)$$

На основании свойства В имеем:

$$\sup b'_k(\omega) = \frac{1}{x_k}, \quad (13)$$

где x_k — действительная часть корня характеристического полинома. Из (12) и (13) следует:

$$x_k > \frac{1}{\sup b'(\omega)}, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

что доказывает справедливость соотношения (11).

В частном случае, когда ближайший к мнимой оси корень действительный, имеем

$$\sup b'(\omega) = b'(0) = \frac{a_{n-1}}{a_n}. \quad (15)$$

Последнее совпадает с результатом, полученным с помощью формул Виета [2]. Таким образом, для косвенных параметров качества можно указать следующие границы:

$$\frac{1}{\sup b'(\omega)} \leq \delta \leq \min_k \left| \frac{a_k}{a_0 C_n^k} \right|^{\frac{1}{k}}; \quad (16)$$

$$\frac{1}{\sup b'(\omega) \cdot \max_k \left(\frac{a_k}{a_{k-1}} \right)} \leq \mu \leq \frac{\min_k \left| \frac{a_k}{a_0 C_n^k} \right|^{\frac{1}{k}}}{\min_k \left(\frac{a_k}{a_{k-1}} \right)}, \quad (17)$$

где $\mu = \min_k (\cos \varphi_k)$ называется *степенью колебательности*. Так как не установлена прямая связь между косвенным и прямым показателями качества переходного процесса [3], то оценки лишь косвенных показателей не могут гарантировать желаемый переходный процесс. Быстрота процесса зависит не только от косвенных параметров качества, но и от начальных условий и кратности корней характеристического полинома. На практике начальные условия настолько разнообразны, что в каждом конкретном случае их влияние на переходный процесс необходимо рассматривать отдельно.

Влияние кратности корней на быстродействие САУ может быть установлено с помощью наибольшего значения производной аргумента в наиболее важном случае начальных условий

$$y(0) = 1, \quad y^{(k)}(0) = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n-1, \quad (18)$$

где μ — выходная величина системы. Анализ показывает, что время регулирования системы увеличивается не больше, чем в m раз, когда ближайший к мнимой оси корень имеет кратность m . Поскольку в этом случае наибольшее значение производной аргумента увеличивается точно в m раз, то время регулирования системы меньше наибольшего значения производной аргумента, т. е.

$$t_p \leq \sup \theta'(\omega), \quad i = 3 \div 5. \quad (19)$$

Таким образом, построение годографа производной аргумента дает возможность не только судить об устойчивости систем, но и производить оценку показателей качества переходного процесса.

5. Численный метод определения корней полинома. Без ограничения общности можно полагать, что система устойчива, так как для всех полиномов вида (1) можно обеспечить условие устойчивости при помощи подстановки

$$s = z - R,$$

где R — радиус круга, внутри которого расположены все корни многочлена [4].

Сущность метода заключается в том, что последовательно сдвигаются корни многочлена в сторону мнимой оси до тех пор, пока наибольшее значение производной аргумента не стремится к бесконечности. По сумме шагов сдвига определяется действительная часть корня, а значение частоты, при которой производная аргумента претерпевает разрыв, определяет мнимую часть корня. В качестве шага сдвига выбирается обратная величина наибольшего значения производной аргумента.

Докажем сходимость метода. Пусть по такому алгоритму построена последовательность шагов $\{\delta_k\}$. Члены последовательности положительны, так как после каждого сдвига в силу условия (11) система остается устойчивой. С другой стороны, $\{\delta_k\}$ является монотонно убывающей последовательностью, так как после каждого сдвига увеличивается наибольшее значение производной аргумента. Следовательно, по признаку сходимости Даламбера ряд $\sum_{k=1}^{\infty} \delta_k$ сходится. При этом

$$\delta_1 = \sum_{k=1}^{\infty} \delta_k = \min_k |x_k|. \quad (20)$$

Далее выделяется найденный корень многочлена и описанная процедура повторяется для определения остальных корней. Так как для рассматриваемых полиномов справедливо неравенство [4]:

$$\mu_k \leq |s_k| \leq \max_k \left(\frac{a_k}{a_{k-1}} \right), \quad (21)$$

то поиск наибольшего значения производной аргумента достаточно производить лишь в конечном интервале частоты

$$0 \leq \omega \leq \max_k \left(\frac{\alpha_k}{\alpha_{k-1}} \right). \quad (22)$$

Это существенно упрощает задачу поиска. Метод хорошо реализуется на ЦВМ, благодаря использованию схемы Горнера.

ЕрНИИММ

Поступило 23.III.1970.

Վ. Ն. ՄԻԼՔՈՒՄՅԱՆ

ԱՎՏՈՐԱՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՈՒՍՏԱՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԱՐԳՈՒՄԵՆՏԻ ԱՇԱՆՑՅԱԼԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա մ փ ն փ ու մ

Ավտոմատ կոտորման սխեմաների հետադրման համար առաջարկվում է նոր մեթոդ, որի հիմքում ընկած են այդ սխեմաների բնութագրիչ բաղաձայնների արդումնադրման աշխատանքների մի շարք հատորների հատկությունները: Յուրջ է արդված, որ բնութագրիչ բաղաձայնների արդումնադրման աշխատանքները և բաղաձայնների դումար է, որոնք միարժեքորեն որոշվում են բաղաձայնների համադրատախանի արմատներով: Առաջադրվում է կանոնավորման սխեմաների կայունության որոշման նոր չափանիշ՝ առանց զանկու բնութագրիչ բաղաձայնների արմատները նոր չափանիշը հնարավորություն է տալիս որոշել ոչ միայն կանոնավորման սխեմաների կայունությունը, այլև թանկարժեքային պահանջները սխեմաների որակը: Բերված են մի քանի պահանջադրանքներ անցողիկ պրոցեսների որակի պարամետրների համար, որոնք ստացված են բնութագրիչ բաղաձայնների արդումնադրման աշխատանքների մեծագույն արժեքի հիման վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шабат Б. В. Введение в комплексный анализ. Изд. "Наука", М., 1969.
2. Мелкумян А. О. О принципах показателей качества переходного процесса. "Известия АН Арм. ССР (серия Т. Ен)", т. XXI, № 6, 1968.
3. Фелдбаум А. А. Аналитические системы автоматического регулирования. Оборонгиз, М., 1957.
4. Поля Г. и Сеге Р. Задачи и теоремы из анализа. Ч. I. Госиздат, М., 1956.

М. Г. БАРСЕГЯН

О КОЭФФИЦИЕНТЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ В ТРУБАХ

Исследование турбулентного режима неустановившегося движения жидкости связано с большими трудностями и по этой причине изучен недостаточно. В этой области имеются немногочисленные работы, которые решают лишь частные вопросы. Общее решение вопроса о потерях энергии при турбулентном режиме движения до настоящего времени не существует.

Настоящая статья также является частным решением этой задачи — в ней сделана попытка экспериментальным путем определить величину коэффициента сопротивления трения неустановившегося ускоренного движения жидкости $\lambda_{н\text{у}}$ для случая, когда в начальный момент жидкость находится в покое, а разность давлений постоянна.

Для этой цели проведено несколько серий опытов с разными диаметрами труб. В качестве жидкости использована вода, движение которой происходило в следующих условиях: жесткая труба наполнена водой, находящейся в равновесии, мгновенно открывая конец трубы, создается ускоренное движение, которое через некоторое время практически устанавливается. Напор в течении всего опыта остается постоянным. Во время опыта измеряются объемы $W_{\text{оп}}$ за короткий промежуток времени t , соответствующие ускоренному движению. Для каждого опыта измеряется расход установившегося движения Q , с помощью которого определяются кинематические величины установившегося движения.

Для сравнения имеющихся действительных объемов неустановившегося потока $W_{\text{н}}$ с расчетными объемами W_p , когда потери учитывают по формулам установившегося движения, надо определить расчетный объем W_p .

Элементарный объем, вытекающий в промежутке времени dt , будет

$$dW_p = v \omega dt, \quad (1)$$

Здесь

$$v = v_0 \frac{e^{\alpha t} - 1}{e^{\alpha t} + 1}, \quad (2)$$

где w — площадь живого сечения трубы; v_y — средняя скорость по живому сечению установившегося движения; τ — параметр, имеющий размерность времени, определяемый по формуле [2]:

$$\tau = \frac{lv_y}{2gH} \quad \text{или} \quad \tau = \frac{l}{v_y(1 + \zeta_c)}, \quad (3)$$

(l — длина трубы, H — напор, ζ_c — коэффициент сопротивления системы).

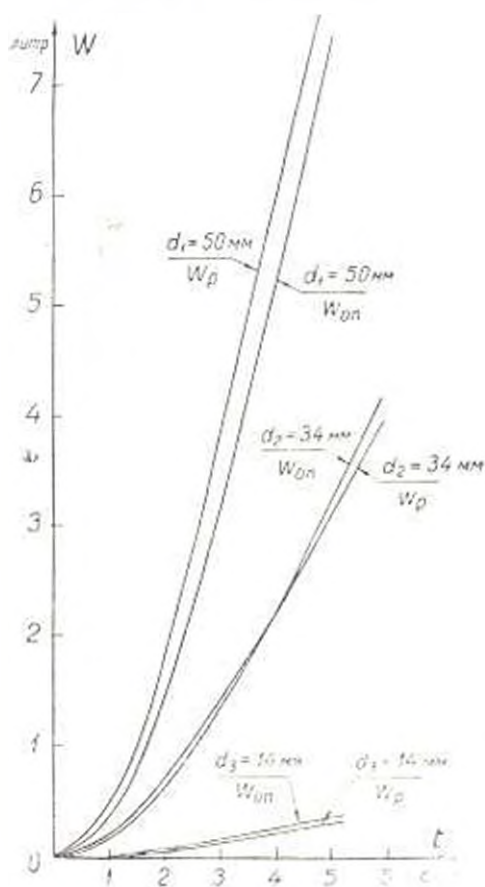


Рис. 1.

Интегрируя (1) с использованием (2) в интервале $[0, t]$, получим

$$W_p = \pi v_y \tau k, \quad (4)$$

где

$$k = \ln \frac{(e^{t/\tau} + 1)^2}{4e^{t/\tau}}.$$

Опыты проводились для трех диаметров: $d = 50; 34; 14$ мм. По имеющимся значениям фактических и расчетных объемов построены кривые зависимостей $W_p = W_p(t)$ и $W_{он} = W_{он}(t)$ для вышеуказанных диаметров (рис. 1). Серия опытов при $d = 50$ мм показывает, что все

фактические точки находятся ниже расчетной кривой, т. е. $W_{\text{ф}} < W_p$. Измеренные точки для второго и третьего диаметров располагаются следующим образом: до некоторого значения времени t фактические объемы находятся ниже расчетной кривой, т. е. $W_{\text{ф}} < W_p$, после чего $W_{\text{ф}}$ становится больше расчетного объема W_p ; при этом с уменьшением диаметра пересечение расчетных и опытных кривых происходит раньше.

Объемы и время выразим через безразмерные величины. Произведение $W_{\text{ф}} \tau$ имеет постоянное значение для каждого опыта, обозначая его через A , для параметра k получим:

$$k = W_{\text{ф}} / A. \quad (5)$$

Поступая аналогичным образом, будем иметь:

$$x = W_{\text{ф}} / A. \quad (6)$$

По подсчитанным значениям k и x построены графики зависимости $k = k(t/\tau)$ и $x = x(t/\tau)$ (рис. 2). Расчетная кривая $k(t/\tau)$ является общей

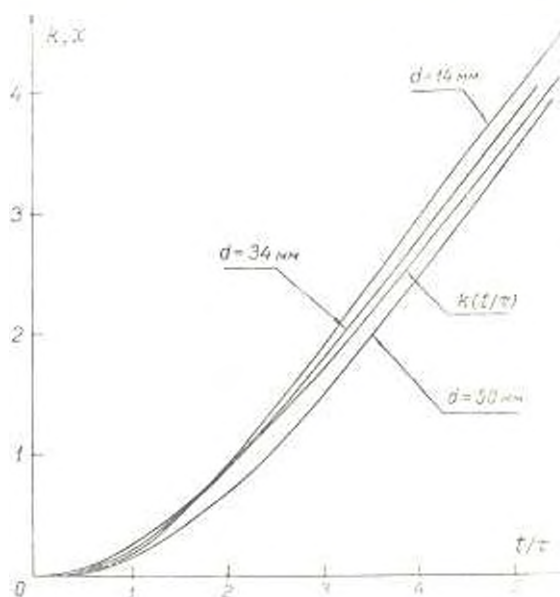


Рис. 2.

для всех диаметров, а фактические кривые располагаются вокруг нее, составляя семейство кривых. По критерию Рейнольдса все опыты проведены в области гидравлически гладких труб (первое мгновение — движение ламинарное).

Из вышеизложенного следовало бы сделать вывод об уменьшении потерь энергии при меньших диаметрах по сравнению с потерями соответствующего установившегося движения. Однако, такой вывод был бы неверным, поскольку сравниваются объемы неидентичных режимов движения. Отклонение от расчетной кривой, по-видимому, можно объ-

яснить тем, что при меньших диаметрах ламинарность длится дольше, и, несмотря на увеличение числа Рейнольдса (большее его критическое значения), режим движения продолжает оставаться ламинарным. А при ламинарном режиме движения, как известно [1], потери энергии больше, чем при соответствующем установившемся движении.

Величину коэффициента $\lambda_{\text{ст}}$ определяем следующим образом. За некоторый короткий промежуток времени $t_2 - t_1$ разность расчетных объемов будет:

$$W_{\text{ст}} - W_{\text{ст}} = \pi \tau (k_2 - k_1), \quad (7)$$

где потери энергии учтены в параметре τ . Используя (3), получим:

$$W_{\text{ст}} - W_{\text{ст}} = \frac{\pi d}{4} (k_2 - k_1) \cdot$$

Здесь коэффициент сопротивления системы ζ будет:

$$\zeta_{\text{ст}} = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{тр}} = \frac{l}{d}, \quad (8)$$

где $\zeta_{\text{вх}}$ — коэффициент сопротивления при входе в трубу.

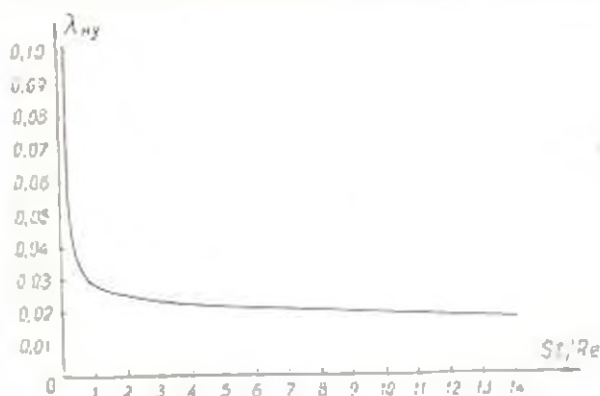


Рис. 3.

Если для того же промежутка времени $t_2 - t_1$ значение $\lambda_{\text{ст}}$ принять постоянным, то, заменяя разность расчетных объемов $W_{\text{ст}} - W_{\text{ст}}$ разностью измеренных объемов $W_{\text{из}} - W_{\text{из}}$ за тот же промежуток времени, можно определить коэффициент $\lambda_{\text{ст}}$, т. е.

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{W_{\text{из}} - W_{\text{из}}}{\frac{\pi d}{4} (k_2 - k_1)} \cdot \quad (9)$$

Пренебрегая величиной $1 + \zeta_{\text{вх}}$, будем иметь:

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{4}{\pi d} \frac{k_2 - k_1}{W_{\text{из}} - W_{\text{из}}}. \quad (10)$$

По значениям $\lambda_{\text{ст}}$, подсчитанным по формуле (10), построена кривая зависимости $\lambda_{\text{ст}} = \lambda_{\text{ст}}(St/Re)$ (рис. 3). Методом подбора полученная кривая аппроксимирована степенной функцией:

$$y = ax^n + c, \quad (11)$$

где

$$y = i_{ny}; \quad x = St/Re.$$

После определения величин параметров a , b и c для коэффициента i_{ny} получается следующая формула:

$$i_{ny} = 0,00084 \sqrt{\frac{Re}{St}} + 0,012. \quad (12)$$

Формула (12) имеет достаточную точность для первого приближения, она применима в пределах

$$\frac{St}{Re} = (0,3 - 14,0) \frac{\nu}{4},$$

где ν — кинематический коэффициент вязкости.

Таким образом, формула коэффициента сопротивления трения неустановившегося ускоренного движения i_{ny} получается в виде степенной функции (12), и для увеличения пределов ее применимости в дальнейшем необходимо уточнить величины параметров a , b и c .

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 3.II.1971.

Մ. Գ. ԲԱՐՍԵԳՅԱՆ

ՇՓՈՐԱՆ ԳԻՐԱԿԻՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՄԱԿՑԻ ՄԱՍԻՆ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՒՄ ՈՉ-ՍՏԱՆՈՎԻՄԱՐ ՀԵՐՏՈՒՆԻ ԳԵՊԳՐՈՒՄ

Ա. Վ Փ Ո Փ Ո Վ Մ

Հոդվածում, ելնելով փորձարարական հետազոտությունների արդյունքներից, ցույց է տրվում, որ արագացող առերրուկնոտ ուժիմի ղեպրում էներգիայի կորուստները միշտ մեծ են՝ րան համապատասխան սաաղթոնար շարժման ղեպրում: Փորձերի տվյալների հիման վրա դորս է բերված շժման ղիմաղրության գործակցի (12) րանաձեր՝ կախված Սարուխայի և ԻԼՀնուղաի թվերի հարաբերությունից:

Ցույց է տրվում, որ սաաղված րանաձեր վերաբերում է շարժման րոշոր չեժրմներին՝ միայն ճշուման են ենթակա հասաաաոտները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Барсегян М. Г. Гидравлические потери при ламинарном режиме неустановившегося ускоренного движения жидкости. „Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)“, т. XXII, № 2, 1969.
2. Հովսեփյան Վ. Մ. Հիդրոգլիկա, Երևան, 1963. Օսցենյա В. М. Гидравлика (на армянском языке), Ереван, 1963.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Г. С. АКОПЯН, И. А. НАБИЕВ

КODOBЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Измерители мощности для автоконтроля с аналого-цифровой вы-
дачей информации на базе стрелочных приборов, несмотря на их извест-
ную инерционность, с точки зрения простоты осуществления и эконо-
мичности могут представить определенный интерес. Например, пер-
вичным измерителем, преобразующим электрическую мощность в
угол поворота, может служить любой стрелочный ваттметр класса 0,2;
0,5 и др. Добавлением преобразователя угла поворота и цифровой
эквивалент [1, 2] можно преобразовать этот прибор в аналого-цифро-
вой (АЦИП).

Из существующих методов съема информации в данном
случае наиболее приемлемыми могут являться электромагнитные,
емкостные и электронно-оптические, которые не создают нагрузку на
чувствительный элемент первичных измерителей.

Исследования [3] показали, что электромагнитные преобразовате-
ли с использованием явления срыва тока генерации автогенератора с
успехом могут быть применены в качестве квантующей приставки к
стрелочным измерителям. В этих случаях в качестве кодирующей ма-
ски служит неметаллическая плата, на которой по определенному по-
рядку расположены, сгруппированные по числу разрядов кода, индук-
тивные катушки со стержневыми ферритовыми сердечниками, пора-
зрядно подключаемые к колебательному контуру транзисторного LC-
автогенератора. На рис. 1 приведена блок-схема такого АЦИП. Макет-
ный образец аналого-цифрового измерителя мощности нами осуществ-
влен на базе трехфазного щитового ваттметра типа ДЗ41; неподвиж-
ная кодируемая маска расположена на плате шкалы прибора. На стрел-
ке закреплена тонкая металлическая пластина небольших размеров,
имеющая длину, равную расстоянию между центрами горцов трех фер-
ритовых сердечников катушек индуктивности, расположенных рядом.
Таким образом, пластина в зависимости от места нахождения стрелки
прибора может перекрыть полностью две или неполностью три сердеч-
ника, при этом не касаясь их (зазор выбирается в пределах 0,2 : 0,8
мм). В общем случае, в зависимости от требуемой точности прибора,
будет определяться число катушек в группе и число разрядов пози-
ционного кода. Например, если шкала прибора имеет 20 делений, как

у интметра ДЗ41 с дискретным расположением, равным 40, с расчета 0,5 делений, то достаточно иметь 21 катушку по три катушки в каждой группе семиразрядного позиционного кода (табл. 1). Для этого случая последовательность кодов приведена в табл. 2.

С перекрытием сердечников катушек металлической пластиной изменяется их добротность, вследствие чего срывается режим автогенерации, и с выхода автогенератора (рис. 1) на вход формирователя поступает нулевой сигнал вместе с тактовыми импульсами мультивибратора.

Таблица 1

Положение стрелки	Код
0	0111111
1	0011111
2	0001111
3	1001111
4	1000111
...	...
37	1011110
40	1111110

Таблица 2

Разряд кода	№ № катушек, соединен- ных в одну группу
1	1, 9, 18
2	2, 11, 20
3	3, 8, 13
4	4, 10, 15
5	5, 12, 17
6	6, 14, 19
7	7, 16, 21

Если же в группе катушек добротность неизменна (нет перекрытия пластиной ферритов), то срыв автогенерации нет и от генератора поступает единый сигнал. Частота тактовых импульсов мультивибратора, в зависимости от необходимой частоты опроса и получения измерительной информации, может быть от 100 до 800 μ с, что и обуславливает скорость поочередного включения и LC-колебательный контур поразрядных групп катушек индуктивности с помощью электронных ключей и диодного коммутатора, запускающихся мультивибратором. В качестве транзисторного автогенератора может быть использована емкостная трехточечная схема Колпитца. Частота генерации в зависимости от конструкции и материалов применяемых металлических пластин, а также катушек индуктивности, может быть выбрана в пределах 150 — 300 кГц.

С целью оценки механического влияния высокочастотных электромагнитных полей катушек кодирующей маски на подвижную часть первичного измерителя были проведены экспериментальные исследования. Как показали эксперименты, высокочастотные электромагнитные поля не влияют на точность первичного измерителя. Представляет интерес рассмотрение влияния металлической основы шкалы на индуктивность и добротность катушек маски, так как при небольших конструктивных зазорах может возникнуть взаимная электромагнитная связь. На рис. 2 приведена упрощенная картина поля и конструктивного расположения катушки кодовой маски, и как видно, часть магнитного потока Φ пронизывает металлическую плату шкалы, образуя при этом взаимосвязанные цепи катушка-плата. Из-за образования вихревых токов в плате

и их влияния на основной магнитный поток добротность катушки уменьшится. Если металлическую плату шкалы заменить эквивалентным замкнутым контуром с активным сопротивлением r_d и индуктивностью L_d , то величины вносимых сопротивлений будут:

$$K_{\text{eff}} = \frac{\omega^2 M^2}{r_a^2 + \omega^2 L_a^2} r_b \quad \text{и} \quad x_{\text{эв}} = \frac{\omega^2 M^2}{r_a^2 + \omega^2 L_a^2} = L_{\text{эв}} \quad (1)$$

где ω — частота генерации колебаний. Таким образом, изменится и общее сопротивление катушки и с учетом вносимого сопротивления будет:

$$z = 1 + \sqrt{r^2 + (x')^2}, \quad (2)$$

где

$$r' = r + \Delta R_{\text{ref}}, \quad x' = x + \Delta x_{\text{ref}}.$$

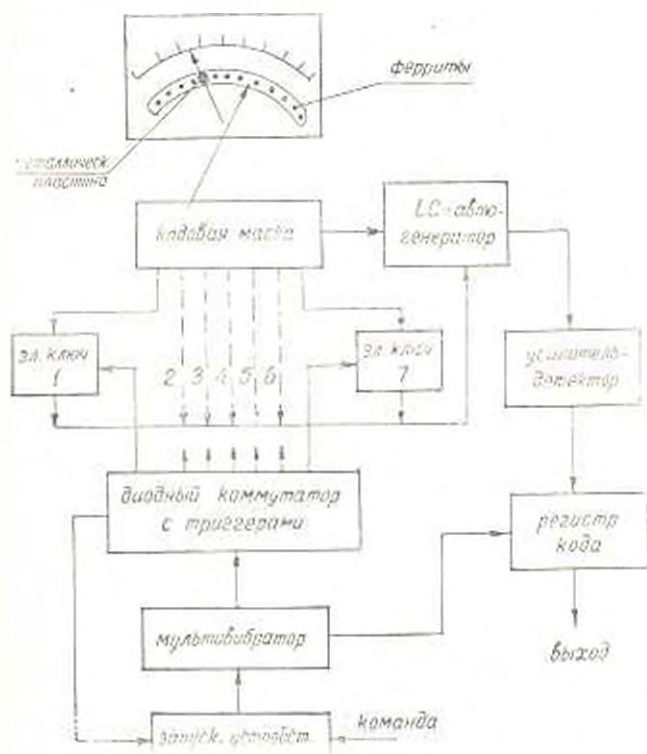


Рис. 1. Структурная схема АЦИП

Величина добротности катушки с учетом упомянутых изменений параметров катушки будет

$$Q' = \omega L/r' < Q_0$$

где $Q_0 = \omega L$ — дробность катушки без учета влияния платы.

С целью сравнения относительного изменения добротности катушки индуктивности от изменения расположения катушка-металлическая

плата (при различных расстояниях между катушкой и платой шкалы), проведены экспериментальные исследования. Результаты приведены на графиках рис. 3, и, как видно, изменение добротности катушки при наличии в ее электромагнитном поле металлической платы шкалы прибора намного меньше, чем при отсутствии.

Условие самопозбуждения LC -автогенератора определяется добротностью катушки индуктивности колебательного контура, величина которой зависит от введения электропроводящей пластины в магнитное поле катушек маски. Поэтому для обеспечения стабильной и надежной работы преобразователя отношение $Q_{\text{мин}}/Q_0$ должно быть возможно меньшим. Как видно из (1), уменьшение этого отношения возможно уменьшением коэффициента взаимной индукции M между катушкой и металлической платой прибора. Это можно осуществить двумя путями:

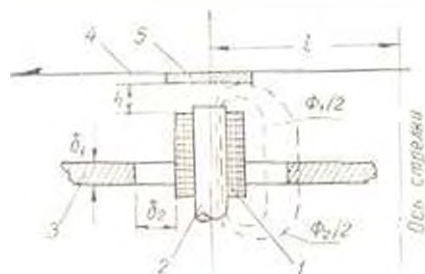


Рис. 2. Расположение катушек на плате: 1—катушка маски; 2—феррит; 3—плата; 4—указательная стрелка; 5—пластинка

— увеличением расстояния d_2 между катушкой и платой шкалы прибора;

— экранировкой катушки от платы шкалы прибора путем размещения между ними ферритовых стерженьков тех же размеров, что и в самой катушке.

Второй путь представляется более рациональным, так как в этом случае можно установить до двух диаметров ферритового стержня. При этом так же происходит увеличение крутизны характеристики $Q/Q_0 = f(x)$, что в свою очередь способствует увеличению отношения сигнал/помеха элемента схемы дискретной информации.

При построении преобразователей с формированием сигналов срыном генерации колебаний можно считать, что основным является выбор материала пластины, расположенной на стрелке прибора. Как показали эксперименты, при частоте 200—300 кГц наилучшие результаты получаются введением в электромагнитное поле катушек пластин из ферромагнитного материала, например, из легированной стали толщиной в $0,1 \pm 0,2$ мм. Несмотря на небольшие размеры, пластинка, находясь на стрелке чувствительного механизма, является дополнительной нагрузкой. В зависимости от конструкции прибора (горизонтальной или вертикальной установки) величина внесенной дополнительной

ной погрешности будет зависеть от степени балансировки подвижной системы измерителя с учетом веса установленной на стрелке пластины.

Ввиду того, что вес пластины может быть в пределах 10 — 15 м и величина действующего на стрелку тангенциального усилия от взаимодействия металлической пластины с высокочастотным полем катушек незначительно, то при определении погрешности измерителя практически ими можно пренебречь.

Как нами экспериментально установлено, изменение величины зазора между пластиной и торцом катушки индуктивности кодирующей маски за счет биения стрелки влияет на стабильность работы автогенератора. С этой точки зрения выбор величины этого зазора в пределах 0,3 — 0,5 мм при диаметре ферритов 1,5 — 1,8 мм является рациональным. При малых значениях зазора возможно трение пластины о торцы ферритов катушек.

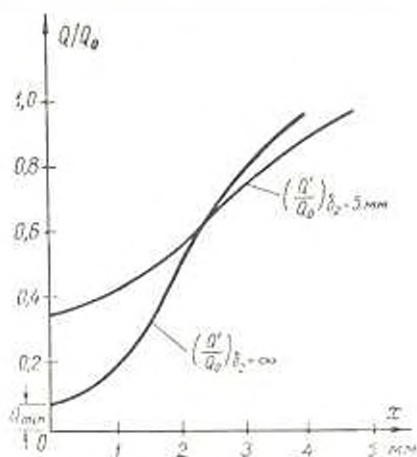


Рис. 3. Кривые добротности при $h=0,3$ мм

Кроме обычных латтметров и качестве стрелочного прибора может быть использован также электронный автоматический потенциометр. В этом случае на его вход должно подаваться напряжение постоянного тока, пропорциональное мощности переменного тока. Для преобразования мощности переменного тока в напряжение постоянного тока обычно применяются так называемые первичные статические преобразователи мощности (СПМ). С развитием полупроводниковых приборов широкое применение нашли СПМ на датчиках Холла, полупроводниковых квадраторах, на транзисторах с применением метода время — импульсной и амплитудной модуляции и др. [4].

В приборе, описанном в [5], для целей измерения трехфазной мощности использовались датчики Холла, а в качестве аналогового прибора применен автоматический потенциометр типа ГПР—4. На стрелке электронного потенциометра можно закрепить кодовую маску или стальную пластину необходимой толщины.

Вариант построения приборов типа АЦИП на базе стрелочных ваттметров является более простым и обеспечивает достаточно высокую надежность цифрового преобразователя. Вариант же с применением автокомпенсаторов целесообразно использовать, если необходимо иметь управление контролируемого процесса при помощи позиционных регуляторов.

ЕРНИ, АЗИНЕФТЕХИМ

Поступило 4.XII.1970.

Հ. Ս. ԱԿՈՊՅԱՆ, Ն. Ա. ՆԱԲԵՎ

ԿՈՂԱՅԻՆ ԿԵՐՊՈՒՓՈՒՄԸ ԶԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԶԱՓԵՉՆԵՐԻ ԶԱՄԱՐ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում դիտվում են հնարավորին ստացված չափիչների համար դեր-
փոքր ինդուկցիան կոճերի փրա կառուցված կողմից կերպարվածիչի աշխա-
տանքի տրանստիզիոնները: Բերված է անալոգա-իվաչին սարքի բյու-
սիման, ինչպես նաև մակետային օրինակի փոքրագույնների արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Толмачев А. А. "Автоматика и телемеханика", № 3, 1951.
2. Гитис Э. Н. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. ГЭИ, 1961.
3. Набиев Н. А., Рустамов Н. С. Безконтактный индуктивный преобразователь механических перемещений. "За технический прогресс", № 11, 1966, Баку.
4. Бахтирова Г. И., Дельвин Г. Н. Измерительные преобразователи частоты трехфазных цепей переменного тока. Сб. статей под ред. А. В. Коваленкой, ОНТИПРИБОР, 1966.
5. Акопян Г. С. Приборы с использованием датчиков Холла для автоматического контроля электротехнических изделий. "Электротехника", № 2, 1968.

Р. А. АМИРИКЯН

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Постановка задачи. Принимаются заданными: параметры l и x элементов сети и коэффициенты трансформации ветвей, содержащих элемент трансформации; величины активных и реактивных мощностей нагрузочных узлов; ограничения по активным мощностям генерирующих узлов, включая и балансирующий, в виде неравенств $P_{k \min} < P_k \leq P_{k \max}$, где $k = 1 \dots n$ (n — число генераторов); начальный стационарный режим (P_k, Q_k) и соответствующие потери активной мощности (π). Требуется минимизировать величину потерь активной мощности путем перераспределения активных мощностей генерирующих узлов.

Алгоритм расчета. Сначала определяется вектор-градиент $\nabla = \left| \frac{\Delta \pi}{\Delta P_k} \right|$. Для этого k -ому генераторному узлу дается приращение мощности ΔP_k и производится расчет стационарного режима и потерь активной мощности (π) при условии постоянства активных мощностей в остальных генерирующих узлах, кроме балансирующего [1]. Очевидно, что приращение ΔP_k вызывает изменение всех зависящих параметров уравнений рассматриваемой системы, которые в свою очередь соответствующим образом влияют на величину потерь. Следовательно, отношение $\Delta \pi / \Delta P_k$, т. е. приближенное значение частной производной потерь активной мощности по изменению активной мощности k -го генерирующего узла, определяется с учетом влияний всех переменных величин уравнений системы. Точность определения на ЭВМ частных производных потерь от активной мощности указанным способом зависит от величины приращения активной мощности ΔP_k . Исследования показали, что величина приращения аргумента (ΔP_k), обеспечивающая наиболее точное определение частной производной в зависимости от самого аргумента, зависит от формы минимизируемой функции. Зависимость величины потерь от мощности отдельных генерирующих узлов при фиксации величин мощностей во всех остальных узлах имеет вид, близкий к параболической функции. В частности, для таких функций, как показали исследования и анализ проведенных расчетов, частная производная от потерь активной мощности наиболее точно может быть

определена на ЦВМ при выборе приращения мощности по формуле $\Delta P_k = |c| \overline{P_k}$. Относительно хорошие результаты получились при $c = 0,4$. Таким образом, для выбора величины приращения мощности при расчете частных производных на ЦВМ рекомендуется формула

$$\Delta P_k = 0,63 \overline{P_k}, \quad (1)$$

обеспечивающая нахождение частных производных, величины которых практически совпадают с величинами частных производных, определенных точными формулами [2]. В отличие от обыкновенного градиентного метода частная производная $\Delta \pi / \Delta P_k$ определяется только для тех случаев, когда приращение потерь от положительного или отрицательного приращения мощности ΔP_k получается отрицательным (т. е. $\Delta \pi < 0$). В противном случае рассматриваемый генерирующий узел исключается от участия в перераспределении мощностей на данном этапе минимизации потерь.

Описанный выше анализ производится для всех генерирующих узлов. На данном этапе минимизации потерь в перераспределении мощностей не участвуют также те генерирующие узлы, для которых $\left| \frac{\Delta \pi}{\Delta P_k} \right| < \varepsilon$, ибо считается, что при этом рассматриваемый генератор работает в относительно оптимальном режиме. Здесь ε — заранее выбранное маленькое число, определяющее точность расчета. В наших расчетах принято $\varepsilon = 0,003$.

Прежде чем дать положительное или отрицательное приращение мощности k -го генерирующего узла, проверяется условие:

- а) при положительном приращении $P_k < P_{k \max}$,
- б) при отрицательном приращении $P_k > P_{k \min}$.

Если условия (2) не выполняются, то мощности рассматриваемого генерирующего узла соответствующее приращение не дается, и этот генератор на данном этапе минимизации потерь так же не участвует в перераспределении активных мощностей. Заметим, что частные производные от потерь активной мощности для всех генерирующих узлов определяются для одного и того же исходного режима. Предполагая, что генераторы, участвующие в перераспределении активных мощностей на данном этапе минимизации потерь, заменяются одним эквивалентным генератором, можно писать следующее равенство относительно средних значений градиентов

$$\frac{\sum_{i=1}^r |\Delta \pi|}{\sum_{k=1}^r |\Delta P_k|} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^r \left| \frac{\Delta \pi}{\Delta P_k} \right|, \quad (3)$$

Здесь $k \neq j$ и $k \neq l$, где j — номер балансирующего узла; l — номера тех генерирующих узлов, которые на данном этапе минимизации потерь

ие участвуют в перераспределении активных мощностей, а n — число генераторов, участвующих на данном этапе в перераспределении мощностей. Равенство (3) будет правильным лишь тогда, когда отношения $\Delta\pi/\Delta P_k$ приведены к общему знаменателю. Из равенства (3) определяется приращение мощности $\sum_{k=1}^r |\Delta P_k|$, которое необходимо дать рассматриваемой системе (эквивалентному генератору), чтобы получить тот эффект минимизации потерь активной мощности, который получится, если каждому генератору дать приращения ΔP_k , определенные по формуле (1), т. е.

$$\sum_{k=1}^r |\Delta P_k| = \frac{\sum_{i=1}^r |\Delta\pi|}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^r \left| \frac{\Delta\pi}{\Delta P_k} \right|}, \quad (k \neq i; k \neq l) \quad (4)$$

Отсюда определяется величина градиентного шага. Для получения большего эффекта необходимо величину градиентного шага взять большей, но чрезмерное увеличение этого шага может привести к отрицательному эффекту. На основе проведенных исследований для выбора величины градиентного шага рекомендуется следующая формула:

$$|\Delta P| = n \sum_{k=1}^r |\Delta P_k| \quad \text{или} \quad \Delta P = \frac{\sum_{i=1}^r \Delta\pi}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^r \left| \frac{\Delta\pi}{\Delta P_k} \right|}, \quad (5)$$

где $k \neq i; k \neq l$.

Доля приращения мощности каждого генераторного узла определяется так:

$$\begin{aligned} \Delta P_k &= \Delta P \cdot \frac{\frac{\Delta\pi}{\Delta P_k}}{\sum_{k=1}^r \left| \frac{\Delta\pi}{\Delta P_k} \right|} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^r \Delta\pi}{\left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^r \left| \frac{\Delta\pi}{\Delta P_k} \right| \right)^2} \cdot \frac{\Delta\pi}{\Delta P_k}, \quad (k \neq i; k \neq l) \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, мощность каждого генерирующего узла на $i+1$ шаге итерации определяется как

$$P_k^{i+1} = P_k^i + \Delta P_k^i \quad (7)$$

с обязательным соблюдением условий ограничения по мощности как для каждого k , так и для балансирующего узла, т. е.

$$P_{k\min} \leq P_k^i \leq P_{k\max} \quad (8)$$

$$\left| \sum_{k=1}^r \Delta P_k \right|_{\Delta P_k < 0} \leq P_{\Delta\max} - \left(P_b^i - \sum_{k=1}^r \Delta P_k \right)_{\Delta P_k > 0} + |\Delta\pi|_{\text{ок}} = A; \quad (9)$$

($k \neq b; k \neq l$)

$$\left| \sum_{k=1}^r \Delta P_k \right|_{\Delta P_k > 0} \leq \left(P_b^i - \sum_{k=1}^r \Delta P_k \right)_{\Delta P_k < 0} - P_{\min} - |\Delta\pi|_{\text{ок}} = B, \quad (10)$$

($k \neq b; k \neq l$)

где $\Delta\pi_{\text{ок}}$ — ожидаемое снижение потерь в результате минимизации. Так как заранее невозможно определить величину $\Delta\pi_{\text{ок}}$, то рекомендуется брать $\Delta\pi_{\text{ок}} \approx 0,1$. Это практически выполняется уменьшением $P_{\max}$ и увеличением $P_{\min}$ на величину 10% от π . В случае несоблюдения условия (8) взамен P_k^i , подсчитанной по формуле (7), берется граничное значение ($P_{k\min}$ или $P_{k\max}$). В случае несоблюдения условия (9) или (10) производится коррекция приращений мощностей ΔP , соответственно по формулам:

а) Для отрицательных приращений мощностей

$$\Delta P_{k\text{кор}} = \frac{\Delta P_k}{\left| \sum_{k=1}^r \Delta P_k \right|} A, \quad (11)$$

где $k \neq b; k \neq l$ и k не равняется номером тех узлов, для которых $\Delta P_k > 0$;

б) Для положительных приращений мощностей

$$\Delta P_{k\text{кор}} = - \frac{\Delta P_k}{\sum_{k=1}^r \Delta P_k} B, \quad (12)$$

где $k \neq b; k \neq l$ и k не равняется номером тех узлов, для которых $\Delta P_k < 0$.

После определения величин новых значений мощностей отдельных генерирующих узлов производится расчет стационарного режима и потерь активной мощности. Расчет считается законченным, когда для всех генерирующих узлов частные производные потерь от активной мощности получаются меньшими или равными заранее заданному числу ϵ , или же когда балансирующий или все остальные генераторы работают предельными ($P_{\max}$ или $P_{\min}$) мощностями.

Результаты расчетов, выводы. В табл. 1 иллюстрирован начальный стационарный режим и результаты расчетов минимизации потерь

Таблица 1

Варианты, режимы			Узлы (k)									
			Генераторы				Нагрузки				Потери	
			1	2	3	4	5	6	7	8	актив- ные (МВт)	реак- тивное (Мвар)
0	Начальный режим	φ рад	-0,522	-0,754	0	0,027	-0,635	-0,694	-0,300	-0,208	45,8	279,6
		E, U кВ	251,0	256,5	259,0	227,0	220,0	220,0	223,1	211,0		
		P МВт	157,8	-54,6	259,9	418,0	-229,9	-116,9	64,7	-322,8		
		Q Мвар	138,1	137,4	177,6	87,3	-79,5	-57,7	-32,4	-81,2		
1	Ограничения	P_{max}	180	-10	355	450	—	—	—	—		
		P_{min}	130	-70	195	360	—	—	—	—		
	Результаты решения	φ рад	-0,347	-0,555	0	-0,024	-0,492	-0,51	-0,251	-0,224	37,2	141,9
		E, U кВ	251,0	266,5	259,0	227,0	226,7	229,3	231,4	215,6		
		P МВт	180,0	-10,0	234,5	360,0	-229,9	-116,9	-64,7	-322,8		
		Q Мвар	108,0	107,9	135,6	50,2	-79,5	-57,7	-33,4	-81,2		
II	Ограничения	P_{max}	250	-10	355	460	—	—	—	—		
		P_{min}	130	-70	145	259	—	—	—	—		
	Результаты решения	φ рад	0,238	-0,528	0	-0,240	-0,440	-0,514	-0,305	-0,371	21,4	129,8
		E, U кВ	251,0	266,5	259,0	227,0	227,7	231,1	234,2	218,1		
		P МВт	238,3	-10,0	277,4	250,0	-229,9	-116,9	-64,7	-322,8		
		Q Мвар	108,1	102,7	137,9	35,4	-79,5	-67,7	-32,4	-81,2		

активной мощности для одной объединенной энергосистемы, эквивалентированной до восьмилюлосника. Пример расчета выполнен для двух вариантов ограничения активных мощностей генерирующих узлов, включая и балансирующий узел. В качестве балансирующего принят третий узел. Заметим, что в этом примере ограничения по реактивным мощностям генерирующих узлов и по напряжениям нагрузочных узлов не ставились. Напряжения генерирующих узлов считались строго заданными. Расчеты выполнены на ЦВМ „УРАЛ-3“ программой, реализующей предлагаемый алгоритм. Анализируя результаты расчетов, приведенные в табл. 1, можно сделать следующие выводы.

1. В первом варианте расчеты потери активной мощности уменьшаются до 30,2 МВт. Дальнейшее уменьшение потерь активной мощности прекращается из-за ограничений, наложенных на мощности генераторов 1, 2 и 4.

2. Во втором варианте расчеты из-за увеличения пределов мощностей, развиваемых генераторами 1 и 4, потери активной мощности уменьшаются до 21,4 МВт, т. е. уменьшается более, чем на 50% от первоначальных потерь. Дальнейшее уменьшение потерь активной мощности прекращается, так как генераторы 2 и 4 работают предельными мощностями, а генератор 1 работает в режиме, когда приращение его мощности (независимо от знака приращения) приводит к увеличению потерь активной мощности.

3. С уменьшением потерь активной мощности как и следовало ожидать, уменьшаются также потери реактивной мощности и улучшаются условия работы системы по напряжению.

Время решения задачи на ЦВМ „УРАЛ-3“ рассмотренного примера составило 3 мин 24 сек при I варианте и 10 мин 30 сек — при II варианте. В составленной программе использована программа расчета стационарных режимов, разработанная в АрмНИИЭ [3].

АрмНИИЭ

Поступило 12.XI.1970

Ռ. Ա. ԱՄԻՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԱԿՏԻՎ ԿՈՐՐԵԿՏՆԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՄԵԹՈԴԻ ՎԵՐԱԵՅՐԱՎ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտվում է աղանդ հզորության կորուստների միանիվղացիայի խնդիրը գեներացնող հանգույցների աղանդ հզորությունների վերաբաշխման ուղիով հաշվի առնելով սահմանափակումներն ըստ աղանդ հզորությունների խնդիրը լուծվում է գրադիենտների և աֆինաարագ իջեցման մեթոդների հիման վրա: Առաջարկված է ալգորիթ, որի հիմնական առանձնահատկություններից մեկն այն է, որ հնարավոր է նրա օգտագործումը (ու մեծ փոփոխություններ

մացնելուց հետո) էներգահամակարգի սեփական կոմպլեքսային օպտիմիզացիան խնդրում հաշվի առնելով տեղիվ հզորության կորուստները նրա ցանցերում: Տրված է խնդրի լուծման օրինակ մի միավորված էներգահամակարգի համար, որը բերված է $n=8$ համարժեք բաղադրիչների տեսքի:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шахноян В. С. Метод и алгоритм вычисления частных производных электрических потерь в сложных сетях энергосистем на электронных цифровых машинах. „Электричество“, № 12, 1960.
2. Аюцу Г. Т. Исследование двух алгоритмов расчета частных производных от потерь активной и реактивной мощности по параметрам режима энергосистемы. „Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)“, т. XXII, № 6, 1969.
3. Аюцу Г. Т. Алгоритм расчета установившегося режима энергосистемы с учетом нелинейных характеристик генераторов и нагрузок. „Электричество“, № 3, 1970.

Г. А. БУРНАЧЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ С НА—ГЭС

Задача выбора оптимального суточного режима работы НА—ГЭС в сложной энергосистеме, состоящей из m теплостанций и n гидро- станций, исходя из критерия минимума расхода условного топлива, сводится к обычной вариационной задаче на безусловный экстремум [1, 2], где отыскивается минимум некоторого функционала

$$J = \int_{t_0}^{t_k} \left(\sum_{i=1}^m B_i + \lambda_{ij} \right) dt = \int_{t_0}^{t_k} F[P_i(t), V_i(t), V_j(t), V_n(t), V_n(t)] dt, \quad (1)$$

с граничными условиями:

$$a) V_{ij}(t_0) = 0; \quad V_{ij}(t_k) = V_{ij}^3, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$б) V_n(t_0) = 0; \quad V_n(t_k) = V_n^0 \quad (2)$$

где

$$\lambda_{ij} = \sum_{i=1}^m P_{ij} + \sum_{j=1}^n P_{ji}(V_{ij}, V_{ji}) \pm P_n(V_n, V_n) - P_i - \Delta P = 0; \quad (3)$$

$$V_i = \frac{dV_i}{dt} = q_i - Q; \quad V_n = \frac{dV_n}{dt} = q_n - Q_n. \quad (4)$$

В выражениях (1) — (4)

B_i — часовой расход условного топлива на i -ой теплостанции;

λ_{ij} — переменный по времени множитель;

P_{ij}, P_{ji} — соответственно нагрузки i -ой теплостанции ($i = 1, 2, \dots, m$) и j -ой гидростанции ($j = 1, 2, \dots, n$);

P_n — нагрузка НА—ГЭС (знак плюс соответствует циклу разряда, а минус — заряда);

$P_i, \Delta P$ — соответственно нагрузка энергосистемы и потери в линиях электропередач;

P_i, V_i, V_n — соответственно векторы с компонентами $(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}), (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}), (V_{n1}, V_{n2}, \dots, V_{na})$;

q_i, Q — соответственно векторы с компонентами $(q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{in})$ и $(Q_{i1}, Q_{i2}, \dots, Q_{in})$, представляющие притоки в водохранилища и расходы через турбины гидроэлектростанций системы.

q_n — боковая приточность в верхнее водохранилище НА-ГЭС;
 Q_n — расход воды на НА-ГЭС (знак плюс соответствует циклу заряда, а минус — разряда);

V_{ij}^0, V_n^0 — соответственно используемые в течение цикла регулирования $(t_k - t_0)$ объемы воды на j ГЭС и на НА-ГЭС.

Кривые, реализующие экстремум рассматриваемого функционала, как известно, должны удовлетворять дифференциальным уравнениям Эйлера-Лагранжа, которые применительно к рассматриваемой задаче могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial B_i}{\partial P_{ij}} + \lambda_j \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ij}} \right) &= 0; \quad i = 1, 2, \dots, m \\ j &= 1, 2, \dots, n \\ \lambda_j \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ij}} \right) \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_{ij}} - \frac{d}{dt} \left[\lambda_j \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ij}} \right) \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_{ij}} \right] &= 0; \quad (5) \\ \lambda_j \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ij}} \right) \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_{ij}} - \frac{d}{dt} \left[\lambda_j \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ij}} \right) \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_{ij}} \right] &= 0. \end{aligned}$$

Если полученную систему $m + n + 1$ уравнений дополнить уравнением (3), то число уравнений достаточно для определения $m + n + 2$ неизвестных функций $P_{11}, \dots, P_{1m}, P_{1n+1}, \dots, P_{1n}, P_n, t$, а граничные условия

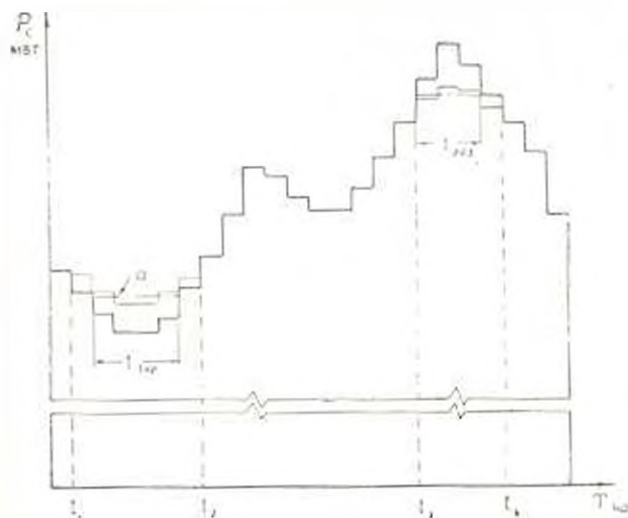


Рис. 1.

для ГЭС и НА-ГЭС (соответственно в циклах заряда и разряда) дают возможность определить $2n + 4$ произвольных постоянных в общем решении системы уравнений Эйлера-Лагранжа.

Но поскольку моменты времени t_1, t_2, t_3, t_4 (рис. 1), в которых

выполняются граничные условия для НА—ГЭС, заранее неизвестны ввиду свойственной ей цикличности работы и возможности использования заданного объема воды при разных продолжительностях циклов заряда и разряда, то данная задача относится к более широкому классу вариационных задач с подвижными границами. В этом случае четыре недостающие условия для определения произвольных постоянных общего решения уравнений Эйлера-Лагранжа могут быть получены из условий трансверсальности, которые соответственно для циклов заряда и разряда в развернутом виде записываются так:

$$\begin{aligned} & \left[\sum_{i=1}^m B_i - \lambda_i (q_n + Q_n) \left(1 + \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} \right) \frac{\partial P_n}{\partial Q_n} \right] \Big|_{t_k=t_1}^{t_k=t_2} + \\ & + \lambda_i \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} \right) \frac{\partial P_n}{\partial Q_n} \Big|_{t_k=t_1}^{t_k=t_2} \delta V = 0; \\ & \left[\sum_{i=1}^m B_i + \lambda_i (q_n - Q_n) \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} \right) \frac{\partial P_n}{\partial Q_n} \right] \Big|_{t_k=t_1}^{t_k=t_2} + \\ & - \lambda_i \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} \right) \frac{\partial P_n}{\partial Q_n} \Big|_{t_k=t_1}^{t_k=t_2} \delta V = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

В такой строгой постановке непосредственное решение рассматриваемой задачи в аналитическом виде вряд ли возможно, особенно, если учесть, что оптимальные управления могут иметь разрывы первого рода. Поэтому ниже излагается способ назначения оптимальных режимов работы НА—ГЭС в сложной энергосистеме с учетом продолжительности циклов заряда и разряда, основанный на численном решении уравнений Эйлера-Лагранжа.

Из уравнений (5), приняв напоры на ГЭС и гидроаккумулирующей станции постоянными, после несложных преобразований получим:

$$\frac{b_i}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ri}}} = \lambda_j \frac{q_i}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{ri}}} = \lambda_n \frac{q_n}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n}}, \quad (7)$$

где $b_i = \frac{\partial P_i}{\partial P_{ri}}$, $q_i = \frac{\partial Q_i}{\partial P_{ri}}$, $q_n = \frac{\partial Q_n}{\partial P_n}$ — соответственно относительные приросты i -ой теплостанции, j -ой гидростанции и НА—ГЭС;

$\frac{\partial \Delta P}{\partial P}$ — относительные приросты потерь активной мощности в линиях электропередачи;

λ_j, λ_n — постоянные в течение цикла регулирования множители.

Уравнение (7) представляет собой условие оптимального режима работы станций энергосистемы.

Используя полученное условие, а также (2) и (3) рассмотрим последовательность расчетов по назначению оптимального режима работы станций системы с одновременным выбором оптимальной продолжительности циклов разряда и заряда НА-ГЭС.

Проведем из начала координат (рис.2) прямую, касательную к расходной характеристике НА-ГЭС $Q_n = \varphi_1(P_n)$ в насосном режиме работы. Эта прямая, выражая зависимость Q_n от P_n , позволяет определить величину средней удельной подведенной мощности $P_{n,ср} = P_n/Q_n$ для подкачки 1 м^3 воды в единицу времени. По $P_{n,ср}$ определяется величина средней удельной подведенной энергии $M_{втч}$ для подкачки 1 м^3 воды. Умножив величину необходимого объема воды, перекачиваемого из нижнего бассейна в верхний (V^0), на значение средней удельной подведенной энергии, получим общее количество энергии в $M_{втч}$ для подкачки всего объема воды, т. е. энергию заряда $\mathcal{E}_n$. Влияя полученную энергию и провал графика нагрузки по прямой (а) (рис. 1) с соблюдением условия $0 \leq P_n \leq P_{n, \max}$, получим некоторую продолжительность периода заряда $t_{\text{зар}}$. Аналогичным образом устанавливается продолжительность периода разряда $t_{\text{раз}}$.

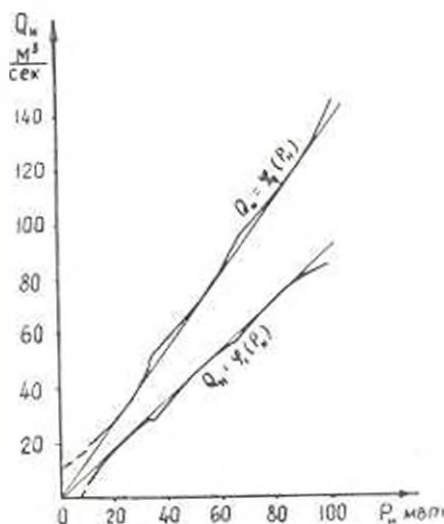


Рис. 2.

Допуская такую конфигурацию сети, потери в которой можно учитывать соответствующими коррективами в характеристиках относительных приростов станций, строим эквивалентную расходную характеристику и характеристику относительных приростов тепловой подсистемы. Задаваясь некоторыми значениями коэффициентов λ_1 , λ_n и имея продолжительности циклов заряда и разряда, согласно условию (7) по часовым интервалам определяем значения P_{rj} ($j = 1, 2, \dots, n$) и P_n . При этом для периода заряда P_n будем иметь одни значения, а для

периода разряда — другие. Значения коэффициента λ для обоих циклов могут быть как одинаковыми (предельный случай), так и различными и зависимости от емкости верхнего накопителя [2]. Имея часовые значения $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{р}}$ для обоих циклов работы НА—ГЭС, по расходным характеристикам ГЭС и НА—ГЭС определяем часовые, а затем суточные объемы использованной воды и сопоставляем соответственно с $V_{\text{н}}^{\text{н}}$ и $V_{\text{н}}^{\text{р}}$. Если полученные для ГЭС значения объемов воды $V_{\text{н}}^{\text{н}}$ больше (или меньше) заданных $V_{\text{н}}^{\text{н}}$, то коэффициенты λ соответственно увеличиваем (или уменьшаем). Если полученное для НА—ГЭС в цикле заряда значение объема воды $V_{\text{н}}^{\text{р}}$ больше (или меньше) заданного $V_{\text{н}}^{\text{р}}$, то коэффициент λ соответственно уменьшаем (или увеличиваем). Корректирование коэффициента λ для цикла разряда выполняется как для ГЭС.

Имея скорректированные значения указанных коэффициентов, и вышеизложенной последовательности вновь определяются $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{р}}$ (для той же продолжительности циклов заряда и разряда) и подсчитываются новые значения суточных объемов воды, которые сопоставляются с заданными. Этот процесс расчета продолжается до получения необходимого соответствия между полученными и заданными величинами объемов воды, т. е. до выполнения конечных условий (2). После этого, имея $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{р}}$, определяется мощность эквивалентной тепловой станции и по ней — расход топлива по системе. Конкретные расчеты показали, что выбор оптимального режима системы при наличии в ней кроме тепловых станций трех ГЭС и НА—ГЭС (при принятой продолжительности циклов заряда и разряда) посредством подбора коэффициентов λ можно осуществить в процессе трех-четырех итераций.

Дальнейший процесс решения поставленной задачи сводится к следующему. Продолжительность циклов заряда и разряда соответственно увеличивая на 1 час, снова выполняем весь расчет и полученное значение расхода топлива по системе сопоставляем с предшествующим. Если в этом случае расход топлива по системе уменьшается, то снова увеличиваем продолжительность циклов и расчет производим до тех пор, пока расход топлива увеличивается. В таком же порядке выполняем расчеты при уменьшении продолжительности циклов заряда и разряда.

Обычно такие расчеты выполняются при нескольких значениях продолжительности циклов заряда и разряда (2—4), так как не могут иметь место большие отклонения от первоначально определенного среднего значения. Оптимальным будет то значение продолжительности циклов заряда и разряда, при котором расход топлива по системе принимает наименьшее значение. При этом, как видно, в процессе решения одновременно получаем и оптимальный режим работы станций системы.

Предложенная методика легко может быть реализована на ЭВМ и даст возможность оптимизацию режима работы НА—ГЭС в сложной

энергосистеме выполнить с одновременным учетом оптимальной продолжительности циклов заряда и разряда. Она в равной мере может быть использована и в проектной практике для обоснованного выявления затрат по топливной составляющей связанных с включением НА — ГЭС в энергосистему.

АрмНИИЭ

Получено 13 IV 1971

Հ. Ս. ԲԱՐՈՒՆՉԱՆՈՎ

ԲԱՐԻ ԷՆԵՐԳԻԱԶՈՐԱԿԱՆՈՐԴՈՐ ԱԵՆԵՐԳԻԱԿԱՆՈՐ ՌԵԺԻՄԱՆՈՐ ՈՓՏԻՄԱԿԱՆ ՊԿ—ՀԷԿ-Ի ԱՌԻՄԱՅՈՒԹՅԱՆԸ

Ա Ն Փ Ի Ն Փ Ի Ն

Հոդվածում բացը հանրահամակարգերում ՊԿ—ՀԷԿ-ի ախտառանքի օպտիմալ ռեժիմի ընտրման խնդիրը, քանի որ ՊԿ—ՀԷԿ-ին հատուկ է ախտառանքի ցիկլիկ ընույթը, դրսևում է որպես վարիացիոն խնդիր՝ շարժող սահմաններով նշնելով այդպիսի դրվածքից, ստացված են այն անհրաժեշտ պայմանները, որոնք թույլ են տալիս օպտիմալացնել ՊԿ—ՀԷԿ-ի ախտառանքի ռեժիմը, միաժամանակ ընտրելով լիցրավորման և լիցրախափման ցիկլերի երկարատևությունը։ Տրված է խնդրի լուծման մեթոդիկան։

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горюштин В. М. Наивыгоднейшие режимы работы гидроэлектростанций в энергетических системах. Госэнергоиздат, 1959.
2. Бурнация Г. А. Топливный эффект НА ГЭС при оптимальном режиме работы. Сб. «Выравнивание графиков нагрузки энергетических систем и выбор типа электростанций для покрытия пиковых нагрузок». Изд. «Наука», М., 1968.

Р. Р. ОВАКИМЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ВНУТРИСТАНЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ГЭС ПРИ НАЛИЧИИ ГРУППОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Распределение нагрузки между агрегатами на гидростанции получается равномерным, если энергетические характеристики агрегатов однотипны и имеют монотонно возрастающий характер. Однако в некоторых случаях при наличии однотипных агрегатов в совершенстве равномерными характеристиками не всегда равномерное распределение является оптимальным [1]. Как показано в [1], кривые потерь $\Delta P(P)$ и гидроагрегаты на некоторых ГЭС и определенных зонах имеют точку перегиба (выпукло-вогнутая функция), и в силу чего характеристики относительных приростов агрегатов являются не монотонно возрастающими функциями.

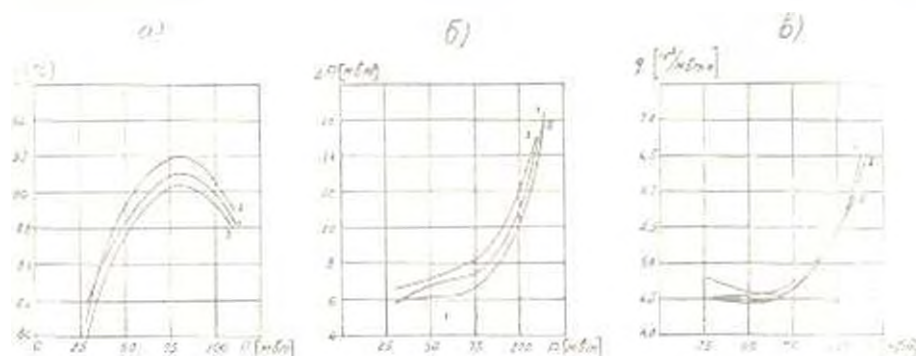


Рис. 1. Кривые зависимости: а) к.п.д. агрегата от нагрузки; б) — потери мощности агрегата от нагрузки; в) — относительных приростов от нагрузки.

Чем же обусловлено наличие выпукло-вогнутых зон и кривых $\Delta P(P)$? Для выяснения этого вопроса рассмотрим несколько зависимостей $\gamma(P)$ (рис. 1, а). [Причем, в качестве исходной взята кривая 1 [1], а кривые 2 и 3 получены некоторым ее смещением вверх и вниз. Используя эти кривые, посмотрим соответствующие им зависимости $\Delta P(P)$ (рис. 1, б). Из рисунка видно, что кривым $\gamma(P)$, имеющим вполне реальный характер, соответствуют различные формы кривых $\Delta P(P)$. Следовательно, зависимости $\Delta P(P)$ могут быть как строго вогнутыми функциями, так и с точкой перегиба. Значит, форма кривых $\Delta P(P)$ предопределена характером кривых к.п.д. Тем не менее, на-

наличие выпукло-вогнутых зон в кривых $\Delta P(P)$ требует более основательного исследования для дальнейшего выявления физической сущности вопроса. Такой характер зависимости $\Delta P(P)$ приводит к тому, что характеристики относительных приростов $q(P)$ агрегатов (рис. 1, а) являются не монотонно возрастающими функциями.

Исследования, проведенные нами на примере Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС, показали реальность таких характеристик. Наличие выпукло-вогнутых зон в $\Delta P(P)$ подтверждено испытаниями на этой ГЭС НИСом Гидропроекта.

Таблица 1

Сумм. нагр. P_{Σ} , Мвт		650			905			1240		
Напор H , м		25,0			24,2			22,6		
Режимы		факт.	опт.	вырван. нагр.	факт.	опт.	вырван. нагр.	факт.	опт.	вырван. нагр.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
№№ агрегатов	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	—	—	—	65	87,3	87,3	75	30	30
	3	30	35	61,5	65	87,3	87,3	80	79,3	79,3
	4	90	35	61,5	105	87,3	87,3	90	79,3	79,3
	5	—	—	—	75	87,3	87,3	75	79,3	79,3
	6	70	35	61,5	70	87,3	87,3	75	79,3	79,3
	7	45	35	56,2	—	—	—	—	—	—
	8	55	35	56,2	40	30	30	50	79,3	52,4
	9	—	—	—	40	30	30	50	79,3	52,4
	10	—	—	—	30	30	30	45	79,3	52,4
	11	60	35	56,2	45	30	30	55	79,3	52,4
	12	—	—	—	—	—	—	15	79,3	52,4
	13	—	—	—	80	87,3	87,3	60	79,3	79,3
	14	70	88	61,5	80	87,3	87,3	70	79,3	79,3
	15	90	88	61,5	100	87,3	87,3	90	79,3	79,3
	16	40	88	61,5	70	87,3	87,3	75	79,3	79,3
	17	50	88	56,2	50	30	30	70	30	52,4
	18	—	—	—	40	30	30	50	30	52,4
	19	—	—	—	—	—	—	50	30	52,4
	20	—	—	—	40	30	30	45	30	52,4
	21	—	—	—	—	—	—	45	30	52,4
	22	50	88	56,2	—	—	—	45	30	52,4
Эффект в %		—	0,6	-0,4	—	0,35	0,35	—	0,3	0,2

Оптимизация внутростанционных режимов ГЭС связана с учетом определенных ограничений, накладываемых на гидроагрегаты станции, к тому же пределы и величины ограничений различны для разных

станций. Например, ограничение типа $P^* \leq P_i \leq P_i^{**}$ (где $P_i > 0$) не всегда исходит из минимальных возможностей агрегатов, так как по нижнему пределу мощности никогда накладываются ограничения как по подпитчикам агрегатов, так и по кавитации. Последнее существенно при минимальных отметках нижнего берега. На результаты расчетов оптимизации заметное влияние также оказывают ограничения по трансформаторам, кабелям (особенно при наличии перетоков на станции) и т. д. Немаловажным является требование ограничения другого типа — наличие группового регулирования на участках ГЭС. Это обстоятельство диктуется как серийностью агрегатов на станции, так и целью быстрого подхвата аварийных нагрузок в срочных случаях и более оперативного покрытия пиковой части графика нагрузки. Однако, наличие группового регулирования не дает возможности индивидуального регулирования генерируемыми мощностями гидроагрегатов в отдельности, что в точках арены оптимизации внутри станции режим ГЭС менее эффективно.

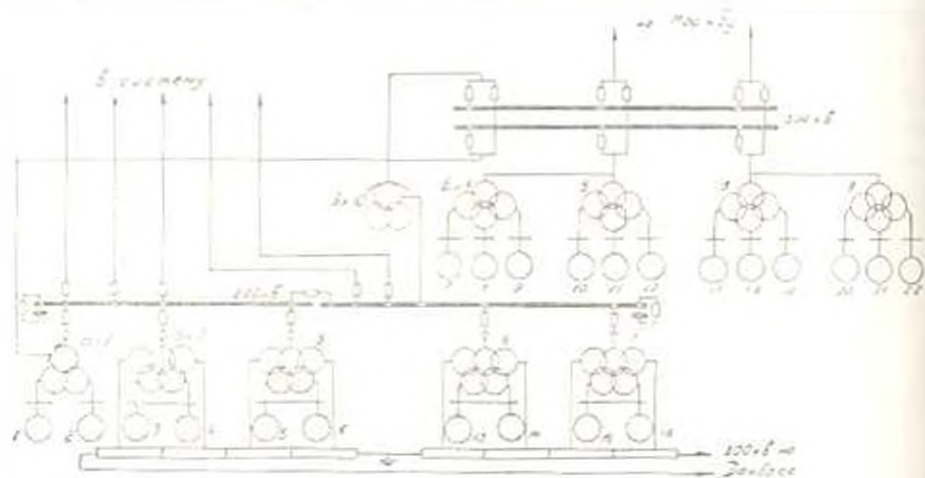


Рис. 2. Схема группового регулирования в одной ГЭС имени XXII съезда КПСС

Учитывая вышеуказанные рассуждения и используя алгоритм оптимизации внутростанционных режимов ГЭС [1], на примере Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС приведены расчеты для некоторых реальных режимов (табл. 1). За исходную информацию приняты зависимости потерь в гидроагрегатах от нагрузки при различных пикорах.

Результаты расчетов показали, что оптимальное распределение нагрузки между однотипными агрегатами с совершенно одинаковыми характеристиками при заданном составе агрегатов с учетом ограничений (по подпитчикам, кавитации, трансформаторам и т. д.) в определенной зоне нагрузок станции получается неравномерным; часть работающих агрегатов нагружается одной нагрузкой, а оставшая — другой.

В табл. 1 приведены данные по фактическим режимам за ряд характерных суток и значения полученных оптимальных режимов с учо-

том различных способов группового регулирования. На указанной ГЭС имеются две группы регулирования, каждая из которых охватывает агрегаты блоков стороны 220 кВ и 500 кВ в отдельности, кроме блоков 1 и 2 (рис. 2).

Из таблицы видно, что полученные оптимальные режимы имеют два уровня нагрузок агрегатов. Данные столбцов 5—6 показывают, что существующая система группового регулирования при прочих равных условиях охватывает результаты оптимизации. При этом эффект от оптимизации по сравнению с фактическим составляет в среднем 0,3—0,4%.

Однако, не при всех значениях нагрузки станции и количества агрегатов становится возможным осуществить оптимальную двухступенчатую загрузку агрегатов из-за существующей системы группового регулирования (столбцы 2, 3, 8—9). Как видно, если в какой-нибудь группе имеются нагрузки в два уровня, то необходимо предварительно осреднить нагрузки и равномерно загрузить работающие агрегаты данной группы. В этом случае эффект от оптимизации резко снижается, а в некоторых случаях стационарные потери по сравнению с фактическими увеличиваются (столбцы 1, 3).

Замена существующей системы регулирования на новую — состоящую из двух групп с двумя ступенями в каждой — позволяет охватить весь диапазон изменения нагрузки станции с возможностью оперативного изменения нагрузок агрегатов в каждой группе, оставляя при этом неизменным число работающих агрегатов. Тогда реальное уменьшение общестанционных потерь по сравнению с фактическими достигает в среднем 0,5—0,55%. При этом автоматически разрешается ограничение на гидростанцию в виде группового регулирования.

Когда суммарная нагрузка ГЭС, деленная на общее число работающих агрегатов при данном напоре, больше мощности, соответствующей точке перегиба, эффект от оптимального распределения по сравнению с равномерным становится равным нулю, т. е. равномерное распределение является оптимальным. Это объясняется тем, что при этих и больших нагрузках на агрегаты кривые зависимости потерь от нагрузки имеют монотонно возрастающий характер.

Например, для рассмотренной ГЭС при $P = P_{г/п} = 70-80 \text{ Мвт}$ и $H = 21-26 \text{ м}$ равномерное распределение является оптимальным (число работающих агрегатов).

В ы в о д ы

1. В ряде случаев кривые потерь от нагрузки агрегатов могут иметь точку перегиба (выпукло-вогнутая функция), что предопределяется характером кривых к.п.д. агрегата при данном напоре. В силу этого относительные приросты нагрузки гидроагрегатов получаются не монотонно возрастающими функциями.

2. Наличие на станции двух групп регулирования не всегда позволяет без предварительных осреднений полностью охватить по-

лученные после оптимизации нагрузки, что приводит к снижению эффекта.

3. На гидростанциях, где энергетические характеристики агрегатов не монотонно возрастающие функции и существуют две группы регулирования, не обеспечивающие полную реализацию оптимальных режимов, желательно перейти на иную схему регулирования, состоящую из двух групп с двумя степенями в каждой, так как в этом случае сохраняется реальный эффект от оптимизации.

АрмНИИЭ

Получено 9.XI.1970.

Ռ. Ռ. ՀՈՎԱԿԻՄՅԱՆ

ՀԷԿ-Ի ՆԵՐՄԱՅԱՆԱՅԻՆ ՈՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄ ԽՈՐԱՅԻՆ ԿԱՆՈՆԱԼՈՐԻՆԸ ԱՆԿԱՑՈՒԹՅԱՆ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում լուստրանված է ՀԷԿ-ի ներկայացման ռեժիմների օպտիմալացման հարցը խմբային կանոնավորման առկայության դեպքում։ Ցույց է տրված շրջանի կեսի տեղադրությունը ադրեզատի կորուստների և բեռնվածքի կտրուտն մեջ և նրա ադդեցությունը օպտիմալացման արդյունքների վրա։ Բեռնվածքի օպտիմալ բաշխումը աշխատող ադրեզատների միջև ստացվում է երկու մակարդակով։ Այն հիդրոէլեկտրակայաններում, որտեղ էներգետիկ բնութագրերը ոչ մոնոտոն առողջ ֆունկցիաներ են և զոյություն ունի կանոնավորման երկու խումբ, որտեղ չեն ապահովում օպտիմալ ռեժիմների լրիվ իրացում, նպատակահարմար է անցնել այլ տիպի կանոնավորման բաղկացած երկու խմբից, չորարանայություն երկու ենթախումբ, քանի որ այդ դեպքում ապահովվում է օպտիմալացումից ստացվող էֆեկտը։

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бурицкий Г. А., Шахматкин С. В. Оптимизация индустриальных режимов ГЭС. „Электрические станции“, № 3, 1970.

С. К. НАЦЯН

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

В статье излагается статистический метод прогнозирования суточных графиков электрической нагрузки энергосистем, отличающийся простотой и легкой возможностью использования ЭВМ для быстрого определения перспективных суточных нагрузок. Путем сравнения фактических графиков нагрузки Армянской энергосистемы за 1968 и 1970 гг. с прогнозными, сделанным на основе отчетных графиков за 1955-64 гг., производится проверка метода, которая позволяет его достаточно надежно для перспективных расчетов при проектировании энергосистем.

Анализ суточных графиков нагрузки Армянской энергосистемы за 15 лет (1955-69 гг.) показывает, что у одноименных графиков из года в год сохраняются неизменными некоторые характерные особенности, кроме того существует определенная закономерность в изменении конфигурации графиков. В течение всего исследуемого периода сохраняется определенная взаимосвязь между величинами средней нагрузки i -го часа, j -го месяца и максимальной нагрузкой текущего года. Эта связь может быть представлена в виде уравнения регрессии:

$$P_{ij} = a_j + b_j P_{\text{г.г.}} \quad (1)$$

где P_{ij} — среднемесячная нагрузки i -го часа j -го месяца ($i = 1, 2, \dots, 24$; $j = 1, 2, \dots, 12$); $P_{\text{г.г.}}$ — максимальная нагрузка текущего года; a_j и b_j — коэффициенты регрессии. Коэффициенты a_j и b_j определяются методом наименьших квадратов. Для каждой пары значений i и j это условие сводится к решению системы

$$\left. \begin{aligned} \sum P_{ij} &= na_j + b_j \sum P_{\text{г.г.}} \\ \sum P_{ij} P_{\text{г.г.}} &= a_j \sum P_{\text{г.г.}} + b_j \sum P_{\text{г.г.}}^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где n — число имеющихся пар значений P и $P_{\text{г.г.}}$. В каждом отдельном случае дополнительно определяются среднеквадратические отклонения σ_{ij} расчетных значений нагрузки $P_{ij \text{ расч.}}$ от фактических $P_{ij \text{ факт.}}$ в долях от последних. Для каждой пары значений i и j

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{\text{факт.}} - P_{\text{расч.}}}{P_{\text{факт.}}} \right)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Коэффициент корреляции, позволяющий судить о тесноте связи между величинами $P_{\text{факт}}$ и $P_{\text{расч}}$, определяется как

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_{\text{факт}}^2}}, \quad (4)$$

где

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{\text{факт}} - P_{\text{расч}}}{P_{\text{факт}}} \right)^2}{n - 1}}$$

это среднеквадратическое отклонение величин $P_{\text{факт}}$ от их среднеарифметической величины

$$\bar{P}_{\text{факт}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{факт}}}{n}$$

в долях от последней.

По имеющимся фактическим графикам нагрузки за 15-летний период вычислены значения коэффициентов регрессии и корреляции для всех 24 часов всех месяцев года. Используя уравнения (1), были полу-

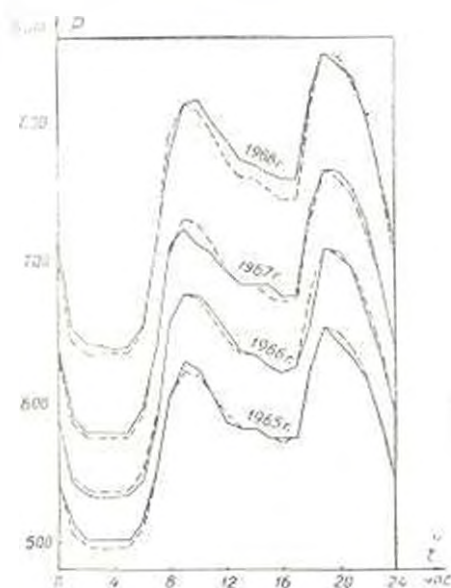


Рис. 1. Расчетные и фактические графики нагрузки среднего декабря рабочего дня:

— фактические,
--- расчетные

чены расчетные графики нагрузки за все годы и сравнены с фактическими. О степени соответствия расчетных и фактических графиков можно судить по рис. 1. Отклонения расчетных величин от фактичес-

ких не превышают 3—4%. Коэффициенты корреляции во всех случаях находятся на достаточно высоком уровне (0,990—0,999). Это означает, что между величинами P_1 и P_n существует довольно тесная, почти функциональная зависимость.

Таким образом, на протяжении сравнительно длительного периода времени, когда претерпевают значительные качественные и количественные изменения как структура генерирующих мощностей энергосистемы, так и состав потребителей, уравнения (1) сохраняются неизменными и с большой точностью описывают суточные графики нагрузки. Это обстоятельство позволяет предположить, что для описания суточных графиков нагрузки данной энергосистемы уравнения (1) могут с достаточной точностью служить еще некоторое время, тем более, что и формах производства и потребления электроэнергии пока не ожидается каких-либо качественных изменений.

Для прогнозирования графиков нагрузки с помощью уравнений (1) необходимо иметь значения перспективных максимумов нагрузки P_n . Их можно определять как методом прямого счета, так и непосредственной экстраполяцией математически сформулированной тенденции изменения годовых максимумов за ряд предшествующих лет.

Максимальные годовые нагрузки P_n , расположенные в возрастающем порядке (по годам), представляют собой динамический ряд, который, как известно, образуется тремя составными частями: долгосрочным движением или тенденцией, краткосрочным систематическим движением, несистематическим или случайным компонентом. Для определения кривой, наилучшим образом описывающей многолетнюю тенденцию изменения величин P_n , была проведена аппроксимация по зависимости

$$P_n = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n, \quad (5)$$

где t — годы; n — степень полинома; $a_1, \dots, a_n$ — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов из статистического ряда значений P_n за исследуемый период. Каждая из этих функций определялась для пяти вариантов, отличающихся количеством исходной информации (от 8 до 14 лет). Расчеты, проведенные на ЭВМ показали, что с увеличением степени полинома n аппроксимирующая функция охватывает все больше случайных и кратковременных колебаний и не может служить в качестве многолетней тенденции изменения P_n . При экстраполяции полиномов четвертой и выше степеней получаются заведомо неверные значения. Многолетнюю тенденцию роста годовых максимумов наилучшим образом описывает полином второго порядка; разброс перспективных значений P_n , определенных по этой функции, для разных вариантов не превышает 3%. Вместе с тем, полином второго порядка достаточно хорошо описывает исходный ряд.

У динамического ряда, составленного из максимальных годовых нагрузок, отклонения отдельных точек от многолетней тенденции вы-

вызываются неравномерностью потока генерирующих мощностей, подъемами или спадами производства в отдельные годы, а также некоторыми случайными факторами (колебания температуры и т. д.). В рассматриваемой энергосистеме эти колебания составляют незначительную величину и в основном носят случайный характер.

Для оценки величин случайных отклонений от тенденции колеблется теорией малых выборок, для которых имеет место распределение рассматриваемого признака по закону Стьюдента. Расчеты показали, что случайные отклонения фактических точек от расчетных с вероятностью 0,995 не превышает 1,5%.

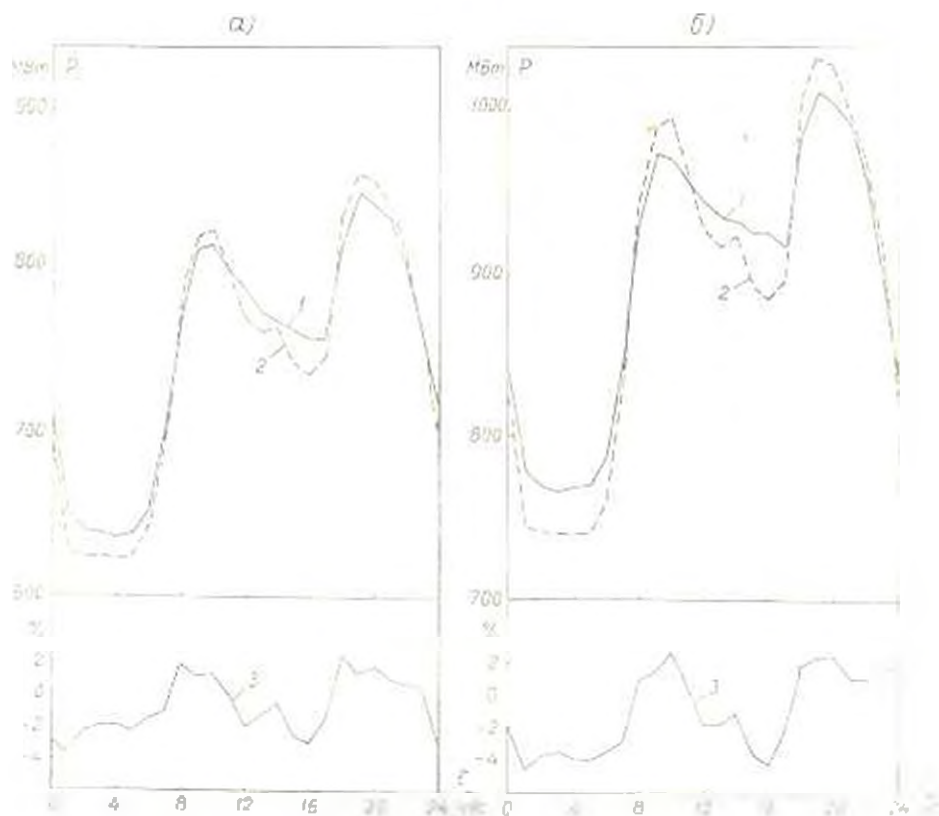


Рис. 2. Сравнение фактического графика нагрузки с прогнозом: а—прогноз на 4 года; б—прогноз на 6 лет; 1—фактический график; 2—прогноз; 3—ошибка прогнозирования

Были проведены дополнительные исследования с целью выяснения вопроса о минимально необходимой информации, которая может дать удовлетворительные результаты. Расчеты показали, что чем длиннее исходный ряд, тем лучше результаты прогноза. Оказалось, что информация за 5—8 лет дает удовлетворительные результаты при прогнозировании на 3—4 года; а для прогнозирования на 5—8 лет необходима информация за период не менее 10 лет.

С целью проверки точности предлагаемой методики были прогнотированы суточные графика нагрузки на 1968, 1969 и 1970 гг. на основе фактических данных за 1955—64 гг. (прогноз на 4 года, 5 и 6 лет) и сопоставлены с фактическими графиками. Исходные данные для расчета графика среднего декабрьского рабочего дня, а также результаты прогнозов на 4 года и 6 лет (без оценки дочерительного интервала) приведены в табл. 1. Расчетные и фактические графики 1968 и 1970 гг., а также графики ошибок прогнозирования представлены на рис. 2. Максимальная ошибка прогнозирования на 4 года составляет 3,6%, а на 6 лет 4,5%.

Таблица 1

Циклы	Суточные графики нагрузки, МВт										Коэффициенты регрессии		Прогноз, МВт	
	годы										b	a	1968 1969	1970 1971
	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964				
1	243	261	254	279	305	314	334	355	405	460	0,660	60,9	629	744
2	241	257	252	275	298	306	330	354	405	455	0,662	56,5	626	741
3	242	255	249	273	296	304	326	349	405	455	0,664	53,5	626	740
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18	259	281	290	324	338	379	412	444	505	575	0,975	-1,5	836	1006
19	270	284	297	332	366	390	425	459	524	586	1,004	-2,3	860	1035
20	268	282	302	330	364	388	423	457	519	585	0,996	-0,5	856	1030
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
24	218	268	266	292	318	329	353	377	445	491	0,755	41,1	691	822

* Годовые максимумы (P_y)

Результаты сравнения, а также возможность проведения расчетов в кратчайшие сроки с помощью ЭВМ позволяют рекомендовать предлагаемую методику для применения при прогнозировании суточных графиков нагрузки крупных энергосистем на недалекую перспективу (5—8 лет). По мере накопления дополнительного фактического материала необходимо провести дальнейшее уточнение метода целью расширения области его применения.

АрмНИИЭ

Поступило 8.VI.1970

И. А. АИЗАН

ԲԱՆԴԱՆԱԳՐԱԿԱՆ ԲՆԻՔԱՅԻՆՔԱՆ ՈՐԿԱՆ, ԿՐԻՅՐԵՆԻՐ
ԿԱՆԱԿՐԵՆԱԿԱՆ, ԳՐԱՆԱԿՐԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐ

Ա. Բ. Ի. Բ. Ի. Բ. Ի. Բ.

Հարգարժեք է հանդիսանալու ձեր հետաքննողական բնութագրի մասին
զանգվածային հանրագրության մեջ ներառվելը և այդպիսով

յի (5—8 տարի) համար, մեթոդը հետաքննություն է ընձեռնում հաշվի առնել ինչպես հաշվետու գրաֆիկների համամասնությունը, այնպես էլ նրանց՝ ըստ տարիների տեսքի փոփոխության օրինաչափությունները։ Բերված է Հայկական էներգահամակարգի 1968 և 1970 թվականների միջին աշխատանքային օրվա փաստացի դրաֆիկների համեմատությունը 1955—1964 թթ. հաշվետու գրաֆիկների հիման վրա կատարած կանխագուշակման հետ։ Չորս տարվա համար կանխագուշակման առավելագույն սխալը կազմում է 3,6%, մեկ տարվա համար՝ 4,5%։

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. А. ПЕТРОСЯНЦ, В. В. ВАРДАНИН

О ВЫРАВНИВАНИИ НЕКОТОРЫХ ЭМПИРИЧЕСКИХ
 РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПО ОБОБЩЕННОМУ ЗАКОНУ РЭЛЕЯ

При выборе теоретической функции распределения для выравнивания эмпирических распределений, подчиняющихся закону Рэлея, существенное значение имеет наличие и отсутствие систематического отклонения данных от нуля. Распределения некоторых случайных величин, характеризующих точность обработки в машиностроении (радиальное биение двух номинально плоских цилиндрических поверхностей, непараллельность и перпендикулярность плоскостей, конусность образующих цилиндрических поверхностей и т. п.), обычно выравнивается по закону распределения Рэлея* [1, 2], функция плотности которого имеет вид:

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где σ — параметр.

Для данного однопараметрического распределения математическое ожидание и дисперсия будут:

$$\bar{r} = \int_0^\infty r f(r) dr = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma, \quad (2)$$

$$D = \int_0^\infty (r - \bar{r})^2 f(r) dr = \left(2 - \frac{\pi}{4}\right) \sigma^2. \quad (3)$$

Пусть некоторое эмпирическое распределение определяется частотами m_i , соответствующими интервалам $[r_i - h/2, r_i + h/2]$ (h — величина интервалов). Тогда среднее значение и эмпирическая дисперсия будут:

$$\bar{r}_i = \frac{\sum m_i r_i}{\sum m_i}, \quad (4)$$

* В некоторых литературных источниках указанное распределение называется распределением Максвелла.

$$D_s = \frac{\sum m_i (r_i - \bar{r}_s)^2}{\sum m_i} \quad (5)$$

При выравнивании данного эмпирического распределения по теоретическому закону распределения Рэлея принимается $\bar{r} = \bar{r}_s$ и $D = D_s$, тогда на основании (2)–(5) будут две формулы для определения параметра z :

$$z = \bar{r}_s / 2z; \quad (6)$$

$$z = \sqrt{\frac{D_s}{2 - \pi/2}}. \quad (6')$$

При отсутствии систематической погрешности значения z , полученные по формулам (6) и (6'), будут достаточно близки, и, принимая одно из них (или их среднее) за значение параметра z , получим искомого распределение (1). Подобный пример рассмотрен в [1].

В общем же случае, в силу отличия данного эмпирического распределения от теоретического по закону Рэлея, значения z по формулам (6) и (6') не совпадают. В частности, это происходит в результате того, что рассматриваемая случайная величина имеет также систематическое отклонение от нуля (систематическая погрешность). В этом случае для выравнивания эмпирического распределения применим обобщенный закон распределения Рэлея, имеющий функцию плотности [2]:

$$z(r) = \frac{r}{z^2} e^{-\frac{r^2 - ar}{2z^2}} I_0\left(\frac{ar}{2z^2}\right), \quad (7)$$

где I_0 — функции Бесселя нулевого порядка мнимого аргумента.

Это распределение — двухпараметрическое с параметрами a и z , где a характеризует систематическое отклонение от нуля; при $a = 0$ распределение (7) переходит в (1).

Для математического ожидания и дисперсии по обобщенному закону распределения Рэлея получим:

$$\bar{r} = \int_0^\infty r z(r) dr = \sqrt{\frac{\pi}{2}} z \Phi\left(-\frac{1}{2}; 1; -\frac{a^2}{2z^2}\right); \quad (8)$$

$$D = \int_0^\infty (r - \bar{r})^2 z(r) dr = 2z^2 \left[a^2 - \frac{\pi}{2} z^2 \Phi^2\left(-\frac{1}{2}; 1; -\frac{a^2}{2z^2}\right) \right], \quad (9)$$

где $\Phi(z; 1; 2)$ — вырожденная гипергеометрическая функция [3]. Для определения параметров a и z приравняем среднее значение $\bar{r}_s$ и эмпирическую дисперсию D_s , определяемые по (4)–(5), значениям $\bar{r}$ и D , определяемым по (8) и (9); в результате получим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{\frac{\pi}{2}} z \Phi\left(-\frac{1}{2}; 1; -\frac{a^2}{2z^2}\right) &= \bar{r}_1, \\ 2z^2 + a^2 - \frac{\pi}{2} z^2 \Phi^2\left(-\frac{1}{2}; 1; -\frac{a^2}{2z^2}\right) &= D_1. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Внедя обозначения $z = \frac{a^2}{2r^2}$ и $F(z) = \Phi\left(-\frac{1}{2}; 1; -z\right)$, система (10) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} z F(z) &= \sqrt{\frac{2}{\pi}} \bar{r}_1, \\ z \left| 2 + 2z - \frac{\pi}{2} F^2(z) \right| &= D_1. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Исключая z , для определения r получим трансцендентное уравнение:

$$\Psi(r) = \frac{2 - 2z - \frac{\pi}{2} F^2(z)}{F^2(z)} = \frac{\pi D_1}{2 r^4}. \quad (12)$$

Решая уравнение (12), определим значение z ; затем по первому из уравнений (11) находим

$$r = \frac{\bar{r}_1}{F(z)} \sqrt{\frac{2}{\pi}}. \quad (13)$$

далее—

$$a = r \sqrt{2z}. \quad (14)$$

Для облегчения вычислений составлена таблица функций $F(z)$ и $\Psi(z)$ (табл. 1). С этой целью функция $F(z)$ была разложена в ряд [3]:

$$F(z) = 1 + \frac{z}{2} - \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^{m+1} \frac{(2m-3)!!}{2^m (m!)^2} z^m. \quad (15)$$

Вычисления произведены на ЭВМ «Искри», при этом в ряду (15) сохранено 11 членов, что обеспечивает для экспонент функций $F(z)$ и $\Psi(z)$ точность $\pm 10^{-4}$.

Таблица 1

z	$F(z)$	$\Psi(z)$	z	$F(z)$	$\Psi(z)$	z	$F(z)$	$\Psi(z)$
0,0	1,0000	0,4252	1,0	1,4465	0,3409	2,0	1,8131	0,2541
0,1	1,0494	0,4270	1,1	1,4462	0,3307	2,1	1,8465	0,2476
0,2	1,0976	0,4214	1,2	1,5251	0,3209	2,2	1,8794	0,2410
0,3	1,1446	0,4136	1,3	1,5633	0,3113	2,3	1,9119	0,2348
0,4	1,1906	0,4034	1,4	1,6008	0,3021	2,4	1,9439	0,2284
0,5	1,2356	0,3943	1,5	1,6377	0,2933	2,5	1,9754	0,2220
0,6	1,2795	0,3838	1,6	1,6740	0,2849	2,6	2,0065	0,2175
0,7	1,3225	0,3728	1,7	1,7095	0,2767	2,7	2,0372	0,2123
0,8	1,3647	0,3621	1,8	1,7445	0,2690	2,8	2,0674	0,2072
0,9	1,4060	0,3514	1,9	1,7791	0,2615	2,9	2,0973	0,2021
						3,0	2,1268	0,1973

Заметим, что при очень больших систематических ошибках, когда $a \gg 1$, и больших значениях r будем иметь $\frac{ar}{2} \gg 1$, тогда для функции $I_0\left(\frac{ar}{2}\right)$ справедливо асимптотическое разложение [3]:

$$I_0\left(\frac{ar}{2}\right) \approx \frac{e^{\frac{ar}{2}}}{\sqrt{2\pi \frac{ar}{2}}} \quad (16)$$

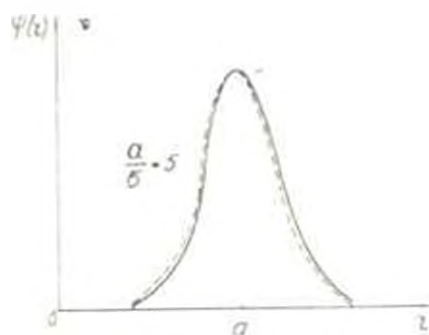


Рис. 1 Графики функций распределения по обобщенному закону Рэлея, или нормальному закону Гаусса.

Подставляя (16) в (7), получим

$$\bar{z}(r) = \frac{1}{2} \frac{r a}{2} e^{-\frac{(r-a)^2}{2a^2}}, \quad (17)$$

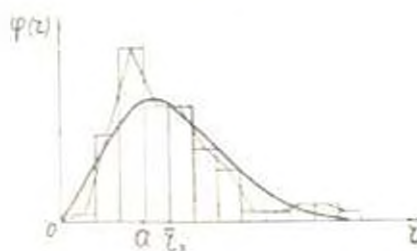


Рис. 2.

откуда видно, что при значениях r , близких к a (когда $|r-a| \approx 1$), функция $\bar{z}(r)$ переходит в функцию плотности нормального закона распределения Гаусса:

$$\bar{z}(r) = \frac{1}{2} \frac{r a}{2} e^{-\frac{(r-a)^2}{2a^2}}. \quad (18)$$

Это означает, что при больших значениях систематической погрешности (параметра a) обобщенный закон распределения Рэлея приближенно

тра распределения близок к нормальному закону распределения Гаусса (рис. 1).

Пример. В табл. 2 (столбцы 1-3) приводится распределение биений партии валов, обработанных на токарном станке. Вычисления дают: $r_1 = 0,0453$; $D_3 = 0,000480$; $\frac{D_3}{2r_1} = 0,367$. Согласно (12) по табл. 1

Таблица 2

Интервалы	Среднее на интер- валов r_i	Эмпиричес- кие частоты m_i	$z(r)$ по формуле (18)	Теоретические частоты m_i	$(m_i - m_i)^2$ m_i
0,005÷0,015	0,01	11	6,43	5,86	17,22
0,015÷0,025	0,02	12	12,11	11,26	
0,025÷0,035	0,03	24	15,92	14,80	5,73
0,035÷0,045	0,04	16	17,38	16,21	0,03
0,045÷0,055	0,05	16	16,17	15,09	0,05
0,055÷0,065	0,06	10	12,82	11,92	0,31
0,065÷0,075	0,07	7	8,82	8,19	0,17
0,075÷0,085	0,08	1	5,23	4,84	8,93
0,085÷0,095	0,09	1	2,56	2,42	
0,095÷0,105	0,10	2	1,18	1,11	0,42
0,105÷0,115	0,11	2	0,45	0,42	
0,115÷0,125	0,12	1	0,15	0,14	
Сумма		93		92,35	7,74

интерполяцией получаем, что при $W(z) = 0,367$ $z = 0,76$ и $F(z) = 1,348$. Тогда по формуле (13) $\tau = 0,0268$, а по формуле (14) для систематической погрешности получим $\alpha = 0,0330$. Таким образом, функция плотности для рассмотренного примера будет иметь вид:

$$z(z) = \frac{r}{0,00072} e^{-\frac{r \cdot 45,9}{0,00072}} I_0(45,9 r).$$

Теоретическая и эмпирическая кривые распределения приведены на рис. 2. Сравнение эмпирического и теоретического распределений по критерию согласия Пирсона [1] дает:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - m_i)^2}{m_i} = 7,74.$$

Число степеней свободы $k = n - r - 1 = 4$ (n — число интервалов объединения частот, встречаемость которых меньше 5; r — число параметров теоретической функции распределения). При $\chi^2 = 7,74$ и $k = 4$ $P(\chi^2) = 0,103$ [1], что больше принятого уровня значимости 0,05. Следовательно, эмпирическая и теоретическая функции согласуются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика статистической обработки информации данных, ГТМ-44-62. Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, М., 1966.
2. Пьявский Н. А. Вероятностные методы динамического расчета машиностроительных конструкций, изд. «Машиностроение», М., 1967.
3. Гродисман Н. С., Рыжик Н. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. Физматгиз, 1962.

Г. М. АСРИЯН

КОЛЕБАНИЯ ВАЛА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МАССОЙ В КРУГОВОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С УЧЕТОМ СВЯЗИ С ДВИГАТЕЛЕМ И РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ В МАТЕРИАЛЕ

Рассмотрим сердечник с распределенными по длине массовыми, упругими и магнитными параметрами.

Выражения для компонентов сил магнитного притяжения согласно [1] будут:

$$\begin{aligned} P_x &= P_x; \quad P_y = P_y; \\ P &= \frac{k B^2}{4\pi} \frac{\chi m}{\text{см}} = \frac{\pi d}{8} \left(\frac{B}{5000} \right)^2 \frac{\kappa l}{\text{см}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Для простоты в (1) принято, что распределение магнитной индукции не зависит от продольной координаты z , а также от r , т. е. $B(z, r) = B = \text{const}$.

Исследуем колебания вращающегося сердечника с погонной массой m , помещенного в середине прямого вала, изгибная жесткость которого EJ . Две балки массы сердечника относительно точки прикрепления сердечника к валу характеризуются эксцентриситетом e . Будем предполагать, что точка приложения равнодействующей магнитных сил и центр тяжести сердечника совпадают. Упругое и гистерезисное отклонения от закона Гука при изгибных колебаниях будем учитывать согласно [2]. Дифференциальные уравнения вращательных колебаний круглого сердечника с вертикально расположенным валом в магнитном поле запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[EJ \frac{\partial^2 x}{\partial z^2} \right] + m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - P_x - z \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left[EJ(k + l^2) \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right)^2 \right] &= \\ = \tau g \cos \varphi, \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[EJ \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \right] + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - P_y - z \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left[EJ(k + l^2) \left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)^2 \right] &= \\ = \tau g \sin \varphi. \end{aligned}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика статистической обработки информации данных, ГТМ-44-62. Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, М., 1966.
2. Пьявский Н. А. Вероятностные методы динамического расчета машиностроительных конструкций, изд. «Машиностроение», М., 1967.
3. Гродисман Н. С., Рыжик Н. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. Физматгиз, 1962.

Г. М. АСРИЯН

КОЛЕБАНИЯ ВАЛА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МАССОЙ В КРУГОВОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С УЧЕТОМ СВЯЗИ С ДВИГАТЕЛЕМ И РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ В МАТЕРИАЛЕ

Рассмотрим сердечник с распределенными по длине массовыми, упругими и магнитными параметрами.

Выражения для компонентов сил магнитного притяжения согласно [1] будут:

$$\begin{aligned} P_x &= P_x; \quad P_y = P_y; \\ P &= \frac{k B^2}{4\pi} \frac{\chi m}{\text{см}} = \frac{\pi d}{8} \left(\frac{B}{5000} \right)^2 \frac{\kappa l}{\text{см}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Для простоты в (1) принято, что распределение магнитной индукции не зависит от продольной координаты z , а также от r , т. е. $B(z, r) = B = \text{const}$.

Исследуем колебания вращающегося сердечника с погонной массой m , помещенного в середине прямого вала, изгибная жесткость которого EJ . Две балки массы сердечника относительно точки прикрепления сердечника к валу характеризуются эксцентриситетом e . Будем предполагать, что точка приложения равнодействующей магнитных сил и центр тяжести сердечника совпадают. Упругое и гистерезисное отклонения от закона Гука при изгибных колебаниях будем учитывать согласно [2]. Дифференциальные уравнения вращательных колебаний круглого сердечника с вертикально расположенным валом в магнитном поле запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[EJ \frac{\partial^2 x}{\partial z^2} \right] + m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - P_x - z \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left[EJ (k + l r^2) \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right)^2 \right] &= \\ = \tau g \cos \varphi, \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[EJ \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \right] + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - P_y - z \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left[EJ (k + l r^2) \left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)^2 \right] &= \\ = \tau g \sin \varphi. \end{aligned}$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \varepsilon \left\{ \begin{aligned} & \varepsilon q (x \sin \varphi - y \cos \varphi) - EI (y^{IV} - x^{IV}), \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где ε — малый положительный параметр, указывающий на то, что соответствующие члены системы (2) малы. Первые два уравнения системы (2) представляют движение центра массы сердечника, и последнее уравнение является уравнением моментов относительно точки O , (рис. 1).

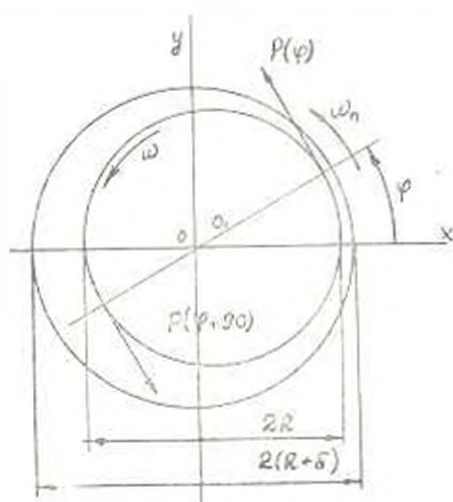


Рис. 1.

Решение первых двух уравнений системы (2) будем искать в виде

$$x = f(s) a_x \cos \varphi_x; \quad (3)$$

$$y = f(s) a_y \cos \varphi_y; \quad (4)$$

где $\varphi_x = \varphi - \varphi_x$; $\varphi_y = \varphi + \varphi_y$; $f(s)$ — функция прогиба, представляющая собой решение невозмущенного уравнения, т. е. из первых двух уравнений системы (2) при $\varepsilon = 0$ соответствующих граничных условиях.

Для условий шарнирного закрепления

$$f(s) = \sin \frac{\pi n}{l} s. \quad (5)$$

Амплитуда a и фаза φ должны быть определены из следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{da}{dt} &= \varepsilon A_1(a) \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \omega - \varepsilon B_1(a) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для решения задачи в первом приближении нужно знать A_1 и B_1 , которые определяются формулами [3]:

$$\begin{aligned}
 A_1(a) &= -\frac{1}{2\pi M \omega_0} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} Q\left(\sin \frac{\pi n}{l} s\right) \sin \varphi d\varphi ds; \\
 B_1(a) &= -\frac{1}{2\pi M \omega} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} Q\left(\sin \frac{\pi n}{l} s\right) \cos \varphi d\varphi ds; \\
 M &= \int_0^{\frac{1}{2}} m\left(\sin \frac{\pi n}{l} s\right) ds,
 \end{aligned} \quad (7)$$

где Q — функция рассеяния энергии после подставления решения в первом приближении (5).

$$\begin{aligned}
 Q = N &\left\{ \left[-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 \sin \frac{\pi n}{l} s \cos(\varphi + \theta) \right]^2 \times \right. \\
 &\times \left[\left(\frac{\pi n}{l}\right)^4 \sin \frac{\pi n}{n} s \cos(\varphi + \theta) \right] + \\
 &+ 2 \left[-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 \sin \frac{\pi n}{l} s \cos(\varphi + \theta) \right] \times \\
 &\times \left[-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^3 \cos \frac{\pi n}{l} s \cos(\varphi + \theta) \right] \left. \right\}. \quad (8)
 \end{aligned}$$

Здесь $N = 3Elj(k + l^2)$; $j = l \left| \frac{3}{m+3} \left(\frac{h}{2}\right)^m \right|$; h — высота (диаметр) сечения стержня; m — четное целое число; k, l — коэффициенты упругого и гистерезисного отклонений от закона Гука; i — множитель сдвига фаз, производящий изменение фазы на ± 2 и гистерезисное отклонение (считаем этот угол независимым от амплитуд деформации).

Перейдем к расчету вынужденных колебаний.

Частное решение первых двух уравнений системы (2) с правой частью, в первом приближении, выражается формулами (3), (4) и (5). Амплитуды a и угол сдвига фаз θ определяются из уравнений (9) согласно [3]:

$$\begin{aligned}
 \frac{da}{dt} &= A_1(a) - \frac{A}{(\omega - \varpi)M} \sin \theta; \\
 \frac{d\theta}{dt} &= (\omega - \varpi) + B_1(a) - \frac{A}{aM(\omega - \varpi)} \cos \theta; \\
 A &= \int_0^{\frac{1}{2}} q(s) f(s) ds,
 \end{aligned} \quad (9)$$

где $q(s)$ — интенсивность возмущающей нагрузки. Коэффициенты $A_1(a)$, $B_1(a)$ уравнений первого приближения (9) вычисляются по формуле (7), если задана функция рассеяния энергии

Уравнение моментов из (2) с учетом (3) и (4) после несложных выкладок приводится к виду:

$$\frac{d\dot{z}}{dt} = \dot{z}(\tau) - [a \cos(\tau - \theta) \sin \tau - a \cos(\tau + \theta) \cos \tau] + \left\{ \eta q \left(\sin \frac{\pi n}{l} s \right) - EI \left[\left(\frac{\pi n}{l} \right)^2 \sin \frac{\pi n}{l} s \right] \right\}. \quad (10)$$

Если ввести допущение, что в течение периода колебаний момент привода мало отличается от момента сил сопротивления, т. е. разность $L(\tau) - q = \text{мала}$, то $\frac{d\dot{z}}{dt}$ можно также считать пропорциональной малому параметру, а $\dot{z}$ полагать медленно изменяющейся функцией времени. Координату z можно рассматривать как квазициклическую и усреднить по ней уравнение (10), которое окончательно примет вид:

$$\frac{d\dot{z}}{dt} = \dot{z}(\tau) - \frac{a}{2} \sin \theta - \frac{a}{2} \cos \theta. \quad (11)$$

Уравнения (9) и (11) образуют систему, эквивалентную системе (2), а величины a , θ , $\dot{z}$ в общем случае определяются как интегралы этих уравнений.

Далее будем различать следующие два типа режимов движения изучаемой системы: режимы стационарного движения и режимы нестационарного движения.

Режимы стационарного движения характеризуются тем, что они протекают при постоянных значениях величин a , θ , $\dot{z}$. В режимах нестационарного движения величины a , θ , $\dot{z}$ могут изменяться в зависимости от τ или t .

В соответствии с таким определением в стационарных режимах движения должно быть

$$\frac{d\dot{z}}{dt} = 0, \quad \frac{da}{dt} = 0, \quad \frac{d\theta}{dt} = 0. \quad (12)$$

Тогда, согласно (9), (11) и (12), получим:

$$\left. \begin{aligned} A_1(\alpha) - \frac{A}{(\alpha - \tau)M} \sin \theta &= 0, \\ (\alpha - \tau) - B_1(\alpha) - \frac{A}{\alpha M(\alpha + \tau)} \cos \theta &= 0, \\ \dot{z}(\tau) - \frac{a}{2} \sin \theta - \frac{a}{2} \cos \theta &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Поэтому значения a , θ , $\dot{\varphi}$ при стационарных режимах движения определяются как корни системы (13). Отсюда находим:

$$\frac{\dot{\varphi}}{\omega^2} = 1 - \frac{A}{aM\omega^2} \left| \cos \theta - \frac{B_1(a)}{A_1(a)} \sin \theta \right|; \quad (14)$$

$$\sin \theta = \frac{2\omega MA_1(a)}{A}$$

Интегрирование (13) выполнено при начальных значениях a_0 , θ_0 и $\dot{\varphi}_0$, соответствующих стационарному режиму движения в точке D , а параметры системы имеют следующие значения:

$$r = 2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}; \quad k = 0,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}}; \quad \dot{\varphi} = 184 \frac{1}{\text{сек}};$$

$$m = 0,7 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{см}}; \quad I = 0,32 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2; \quad a = 0,12 \text{ мм};$$

$$\theta = 84; \quad \gamma = 0,28 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}}; \quad \omega_0 = 196 \frac{1}{\text{сек}}.$$

Результаты интегрирования в виде графиков $a(t)$ и $\dot{\varphi}(t)$ представлены на рис. 2. Кривая 2 характеризует прохождение через первую критическую скорость, при этом система стремится к стационарному значению $a = 0,2 \text{ мм}$ и $\dot{\varphi} = 212$, соответствующему точке B на рис. 2.

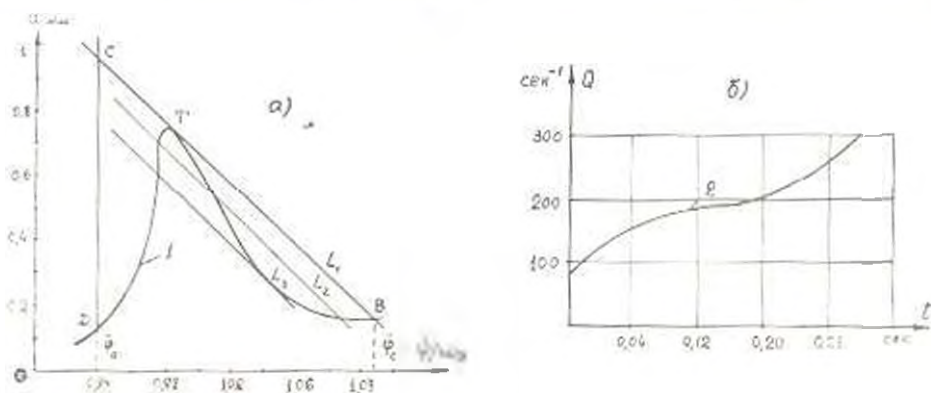


Рис. 2.

Полученные результаты позволяют заключить, что нестационарные режимы движения систем с малой нелинейностью при прохождении через резонанс имеют такие же специфические особенности изменения частоты, которые обнаруживаются у линейных систем. Представление о характере изменения амплитуды и частоты колебаний дают графики на рис. 2. а и б. Характеристика источника энергии L выбиралась так, чтобы избыточная мощность была минимальной, чтобы график L проходил через точку T (рис. 2, а).

Величина углового ускорения $\frac{d\dot{\varphi}}{dt}$ сильно изменяется в процессе прохождения системы через область резонанса. Изменение углового ускорения тесно связано с изменением амплитуды a с увеличением a уменьшается $\frac{d\dot{\varphi}}{dt}$ и наоборот. В резонансной зоне $\frac{d\dot{\varphi}}{dt}$ принимает свое наименьшее значение при максимальном значении a (точка 1 на рис. 2). Однако, так как рассматриваемая система имеет мягкую характеристику нелинейности, то при прохождении указанных систем через резонанс необходимо больше времени, чем для других систем.

ЕО ВНИИЭМ

Поступило 29.X.1970.

ЛИТЕРАТУРА

1. Позняк Э. А. Колебания вращающегося отдельного сердечника в магнитном поле. „Научные доклады высшей школы. Электромеханика и автоматика“, № 1, 1958.
2. Василенко Н. В. Зависимость между напряжением и деформацией в различных изотропных телах. В кн. „Рассеяние энергии при колебаниях упругих систем“. Изд. АН УССР, Киев, 1966.
3. Василенко Н. В. К расчету колебаний с учетом нелинейности. В кн. „Рассеяние энергии при колебаниях систем“. Изд. АН УССР, Киев, 1963.

Ր Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿՈՄԻՏԵ
հանդեսի 24-րդ հատորի

Հաշվապահական տեխնիկա

- | | | | |
|-----|----|---|------|
| II. | Գ. | Հակոբյան, Պ. Ա. Մարեոսյան. Բազմաձև քանակների հաշվարկի կարգադրման համակարգի մշակումը | 4—22 |
| Պ. | Ա. | Մարեոսյան. Անադայի մանկաների օգնությունը հայոց մողանցներին | 7—23 |
| Գ. | Զ. | Մելիքյան. Արտադրության կառավարման սխեմաների հետազոտումը արդյունաբերության մեջ | 6—3 |
| Է. | Վ. | Վարդյան, Ա. Պ. Շաբադյան. Ֆուրկանյանի հաշվարկի մեթոդի մշակումը | 1—30 |

Պատմական տեխնիկա

- | | | | |
|----|-----|---|------|
| Հ. | II. | Հակոբյան, Ի. Ա. Նալբանդյան. Կոնստանդնուպոլսի հայոց մշակույթի պատմությունը | 6—15 |
| Հ. | Գ. | Վանյան, Մ. Ա. Նալբանդյան, Վ. Ս. Սիմոնյան. Լ. Ը. Նալբանդյանի գործերի մասին | 1—36 |

Հիդրամեխանիկա

- | | | | |
|-----|----|--|------|
| Պ. | Ա. | Մարեոսյան, Ա. Մ. Վանյանյան, Ի. Ա. Հակոբյան. Արտադրության մեթոդների հետազոտումը | 3—61 |
| Ի. | Հ. | Վանյանյան. Կոնստանդնուպոլսի հայոց մշակույթի պատմությունը | 1—36 |
| Մ. | Հ. | Վանյանյան. Կոնստանդնուպոլսի հայոց մշակույթի պատմությունը | 6— |
| Ա. | Մ. | Վանյանյան, Յան. Ա. Վանյանյան, Ռ. Ս. Հակոբյան. Արտադրության մեթոդների հետազոտումը | 2—21 |
| II. | Ա. | Հակոբյան. Արտադրության կառավարման սխեմաների հետազոտումը | 5—42 |
| Գ. | Ա. | Մարեոսյան. Օդի ստացումը արտադրության մեջ | 3—22 |
| Վ. | Գ. | Մանյան. Հոսանքի քանակության հաշվարկի մեթոդներ | 2—11 |

Էներգետիկա

- | | | | |
|----|----|---|-----|
| Հ. | Ս. | Աղաբաշխ. Կառավարման մեթոդների հետազոտումը | 1—3 |
| Հ. | Ս. | Աղաբաշխ. Կառավարման մեթոդների հետազոտումը | 3—3 |

Թ. Հ. Ամիրխանյան. Հիսկարական ցանցերում ակտիվ կորուստներին միևնույն դեպքում մեթոդի վերաբերյալ	8—21
Վ. Ն. Բուխին. Անալոգային մեքենաների միջոցով վառելանյութի ծախսի նախաբերական աճերի չափումներին նշտության բարձրացման որոշ ուղիներ	3—17
Շ. Ա. Բուռնաչյան. Ուսող էներգահամակարգերի աշխատանքի ունեցողների «ստիմուլացում» ԳԿ-ՀԷԿ-ի շտկայությունում	8—29
Վ. Ս. Խաչատրյան. Հենթահամակարգի ցանցերում կորուստների նախաբերական աճի բերհաշվման մեթոդ	3—14
Թ. Ո. Նովոկիմյուն. ՀԷԿ-ի ներկայանալին ապոմիսայացում խմբային կառուցվածքում առկայությունից զերծ	8—34
Գ. Ս. Մելիքյան. Վ. Ի. Սանտիպով. Անցողիկ պրոցեսներին և դժային սխառնմաներին հաճախականական բնութագրերի նախաբերականությունում Խորվիկի Անալոգայինների հաշվման մասին	3—24
Ս. Կ. Պալյան. Հենթահամակարգի բնականությունում որակական կրագրիկների կառուցվածքի վերաբերյալ	6—32

Էլեկտրատեխնիկա

Ա. Մ. Առաքելյան. Կոմպակտային ուղի-գծային բեռնաբերող ունեցող անհամաձայն միջավայրում ժաղերիսկային կոմ էլեկտրական զանգում պայմանավորված բարձր-նեքի տեղերը	1—12
Ս. Կ. Ուսյան. Էլեկտրական մեքենաների առաջնությունից մագնիսական բարձրագույն շարժում	3—86
Գ. Գ. Ֆինկյան. Շ. Ա. Արուսյան. Հոսանքի և լարման հակադարձ հարաբերականության ֆիզիկական համեմատական անալիզի մարմնավոր պայմանավորված ախտաբանությունում	1—57
Մ. Ա. Կարապետյան. Վ. Ա. Գրիգորյան. Վ. Վ. Հարությունյան. Հաստատուն դաշտի վերաբերյալ որոշ կոնցենտրացիայի էլեկտրոդային խառնուրդով դիսպերս սխառնում	2—14
Դ. Ա. Հայրապետյան. Ի. Ա. Խաչատրյան. Անհամաձայն բեռններով օդակրակի շարժման	1—54
Կ. Ռ. Մալախյան. Պրոպագանդային հարգողապարների ակտիվ դիմադրությունից հաշվումը արդյունաբերական համախառնության դեպքում	2—55

Մեկնալիություններ

Մ. Վ. Կասյան. Վ. Ա. Սիմոնով. Ռ. Ս. Համբարում. Ընդհանուր սեռականությունից նշանակա- առաջացող բերմանտեղանք	1—3
Ս. Վ. Կասյան. Գ. Ս. Սիմոնով. Հ. Բ. Բաղդասարյան. Հ. Հ. Համբարումյան. Միևնու- կարձրությունից փոփոխությունը ընդհանուր կարման մասնակ	2—4
Լ. Վ. Կոնովալով. Ս. Ա. Կասյանյան. Ոչ-ստացիոնար բնականությունից զերծում հաշու- մության դիմադրության հաշվարկի վերաբերյալ	3—43
Ս. Ա. Մարգարյան. Տարածական ուղղորդող բաղադրակի սինթեզի վերաբերյալ	3—8
Կ. Ս. Կոնովալով. Վ. Մ. Սիմոնով. Երջանա էլեկտրիկ կորի կառուցման մեկնա- կարգի մասին	2—5
Կ. Ս. Կոնովալով. Վ. Մ. Սիմոնով. Տարածական շարժվող-ստացիոնար մեխանիզ- մի նախադրումը և կորուստների փոքրածանցիկ ուղի-հարցեր	5—3

Ինտերպոլյան և մեծագույնություններ

Վ. Ա. Սիմոնով. Գ. Ս. Սիմոնով. Ռ. Ս. Սիմոնով. Սիմոնով. Մարմին-հեռաբանական մեքենաների կոնստրուկցիոն առաջին համախառնության շարժում	2—83
---	------

Հիմնաբանական մեխանիկա և շինարարական կոնստրուկցիոններ

Տ. Ա. Գրիգորյան. Է. Ս. Խաչատրյան. Մեխանիկա աղանդություններին բաղադրական կառուցվածք	
--	--

ըն շնորհի հակադիմադրություններ վերլուծություն քառ ունեղ երկրաչափների ակադեմիկոսներին	4—3
Տ. Ա. Կուրյան, Սեյմիկ շրջանների համառ քաղաքային շենքերի կարկասներում թեթև նրվաթթվաթթվի կիրառման վերաբերյալ	5—83
Ա. Ա. Զաղրյան, Ի. Մ. Մառաշյան, Բնտոնի ոչ-գծային սողջը քարերը շերտաանոթառում	4—13
Վ. Ա. Մառաշյան, Բաղաձայնի շենքերի դինամիկ բնութագրերի վերաբերյալ	3—36
Խ. Թ. Խաչատրյան, Զինվորական լարումները պարագծով ազատ հենված ճեղքներում	4—31
Վ. Ա. Զավթաբեկյան, Կարկասային շենքերի ոչ-գծային առաջնությունները պարբերորեն թուլանալի վերաբերյալ	1—16
Լ. Ա. Մովսիսյան, Վ. Գ. Մառաշյան, Օվալային կորվածքով դառնային թաղանթների տառանումները	2—45
Լ. Մ. Կուրյան, Կրակային խաչափերի ոչ-գծային սողջը	3—40
Կ. Կ. Սեյմիկ, Կուրյանյան խաչափերում առաջնությունային առաջնական դեֆորմացիաները փոփոխական առաջնական կիրառման առթիվ	7—34
Վ. Վ. Փիմանով, Վ. Ա. Կառապետյան, Թեթև բնական սկզբնական առաջնականության կողմից մեծության մասին	4—23

Գիտական երթեր

Զ. Մ. Արքայան, Բաղաձայն մասնագիտացված լինողի տառանումները շրջանային մազնիսակա դառնումների վերաբերյալ	6—50
Լ. Ս. Բաղաձայնյան, Զարգացող տնտիվ համայնությունների բնույթի մասին	1—50
Ա. Զ. Կառապետյան, Մ. Գ. Սեյմիկյան, Ա. Լ. Մանկ, Ուսումնական բնականությունների մեծությունների դերը լարումների կոնցանտրացիայի էջնակի ճանաչման վերա բերյալ	4—42
Ա. Ա. Կառապետյան, Բնական խաչափերի և բոլոր շերտաանոթային պայմաններ առաջնական էլեկտրական մեծությունների մեծությունների կոնստրուկցիայի ծառայու թյան մասինների կառավարողությունը	5—58
Ա. Վ. Զավթաբեկյան, Կարկասային միանշանակների տառանկա կառավարողությունների համապատասխան շերտաանոթայինում	5—54
Ա. Ա. Սեյմիկյան, Կ. Ա. Մառաշյան, Բաղաձայնի դառնակի քառանկյունաձևառո տների առաջնական և ռեանակի բնականությունների դերը լարումների վերա բերյալ	4—50
Ի. Ա. Պիմանով, Վ. Վ. Վառդանյան, Ռոտը Լմուրիկի քառանկյունի Զավթաբեկյան ժողովրդական թանկերի միջոցով	3—45
Է. Ա. Մանկյան, Կառավարող կոնստանտիկ դուրսի հարթ շենքային երկրաչափական մեծությունների մեծությունից սինթեզ	5—64
Ի. Ա. Վառդանյան, Բնական և դառնակի տառանկերի առաջնական դինամիկ սկզբնական ազդեցության տակ	4—48

Գիտության դարձիներ

Վլան Վառդանյանի հիշատակում ընկերություն	3—65
---	------

С О Д Е Р Ж А Н И Е

XXIV тома журнала „Известия АН Арм. ССР (серия
технических наук)“

Вычислительная техника

- С. Г. Акопян, П. А. Матросян. Об одном методе параллельного моделирования электромеханических переходных процессов многомашинной энергосистемы 1—27
- П. А. Матросян. Применение АВМ для решения обратной задачи точности сложных моделирующих устройств 1—23
- Д. О. Мелкмян. Исследование систем автоматического управления методом пропаводной аргумента 6—1
- Э. В. Катарян, А. П. Шоркени. Исследование концентрационной неустойчивости канальных ртутно-электролитических преобразователей с флюидоэлектрическим сгущиванием 1—30

Измерительная техника

- Г. С. Акопян, Н. А. Нибися. Колодный преобразователь для измерителей мощности 6—13
- А. Г. Гукасян, М. А. Карапетян, В. С. Саконян. Потривности 1—С измерительных цепей 1—36

Гидравлика, гидротехника

- Я. А. Алимзян, А. М. Гаспарян, Р. Е. Ахонян. К расчету турбулентности перемещения аэрозольей 3—51
- Р. Г. Асатрян. Экспериментальное исследование предельной транспортирующей способности двухфазного потока в жестком русле 4—15
- М. Г. Бабегян. О коэффициенте сопротивления трения при неустановившемся движении в трубах 6—15
- А. М. Гаспарян, Я. А. Алимзян, Р. Е. Ахонян. О гидродинамической неустойчивости при неперемещении и плотном слое 2—21
- Г. А. Масарян. Установившееся движение воздуха с переменным расходом вдоль пути в условиях кругового движения центробежного вентилятора электрической машины 2—29
- Р. А. Ованян. Гидравлический расчет аэрированного потока при равномерном движении 5—47
- В. Г. Сакоян. Расчет процесса замыкания водохранилища 2—14

Энергетика

- Г. Т. Адопц. Уравнения установившегося режима линии с распределенными параметрами 1—9

Г. Т. Айбач	Расчет установившегося режима многополюсника, представляемого Z-параметрами	3—3
Р. А. Амирхан	Об одном методе минимизации потерь активной мощности в электрических сетях	6—21
В. Н. Бусин	Некоторые пути повышения точности измерений относительного прироста расхода топлива котлоагрегатов с помощью АВМ	5—17
Г. А. Бурцева	Оптимизация режимов работы ложных инерционных с НА ГЭС	5—25
Д. С. Мельников, В. И. Сыков	О вычисления преобразований Фурье при расчетах переходных процессов и частотных характеристиках линейных систем	5—24
Р. Г. Овчинников	Оптимизация инуристанционных режимов ГЭС при наличии группового регулирования	6—31
С. А. Пинск	Статистический метод прогнозирования изменений тарифов на услуги электроэнергией	6—39
В. С. Усманов	Метод расчета относительных приростов потерь в сетях инерционных систем	3—14

Электротехника

А. М. Аракелян	Тензор напряжений, обусловленный магнитным или электрическим полем в неоднородной среде с произвольными нелинейными характеристиками	1—12
Г. А. Айрапетов, Г. А. Намазова	Расчет на ЭВМ режимов работы явнополюсного синхронного двигателя при значительных колебаниях напряжения и частоты в энергосистеме	1—50
С. К. Бодан	К определению магнитного напряжения обмоток электрической машины	3—60
Г. Г. Гамоян, Ш. А. Ароян	Сравнительный анализ фильтров тока и напряжения обратной последовательности в схемах коммутационной аппаратуры	1—57
М. А. Карапетян, В. А. Григорян, В. В. Арутюнян	Перераспределение постоянного тока в дисперсной системе с разнотипными включениями малой концентрации	2—54
К. Р. Маммаев	К расчету эквивалентных сопротивлений сталеалюминиевых проводов на промышленной частоте	2—58

Математический анализ

М. В. Киселев, В. А. Сивилкин, Р. С. Тибарян	Температура, возникающая при диффузионном протекании ионов	1—3
М. В. Киселев, Г. С. Маммаев, Г. С. Багдасарян, Г. А. Арутюнян	Намещение микротвердости при сжатии в разрыве	2—3
Л. В. Копылов, С. А. Гаспарян	Об оценке сопротивления усталости при нестационарном нагружении	3—45
Ю. Л. Саркисян	К синтезу пространственного направляющего четырехзвенника	5—8
К. Х. Шахбазян, В. М. Галиян	Об одном способе построения кривой круговых точек	2—9
К. Х. Шахбазян, В. М. Тигран	Синтез пространственного передаточного кривошипно-ползунного механизма и некоторые вопросы уменьшения потерь	5—3

Металлургия и металлообработка

В. А. Спичин, Г. А. Виноградова, Р. Я. Осипян	К исследованию сдвига на контакте «снугучее тело-опорная поверхность»	2—38
---	---	------

Строительная механика и строительные конструкции

- Вл. А. Азбазьян. О периодах свободных нелинейных колебаний каркасных зданий 1—16
- Т. А. Горюх, Э. Е. Асизян. Анализ реакций многоэтажных каркасных зданий на сейсмическое воздействие по акселерограммам сильных землетрясений 4—3
- Т. А. Голова. О применении метода конечных элементов в каркасах многоэтажных зданий для сейсмических расчетов 1—51
- М. А. Завицкий, М. М. Мурадян. О нелинейной ползучести бетона при высоких температурах 4—13
- В. А. Завицкий. Задача о нелинейном исследовании динамических характеристик зданий повышенной этажности 1—37
- Л. А. Мелесян, В. Г. Сахакян. Колебания цилиндрических оболочек произвольного сечения 2—43
- Л. М. Мурадян. Нелинейная ползучесть цилиндрической трубы при охлаждении 3—47
- В. В. Пинар-ян, В. А. Карапетян. О нелинейной ползучести модуля упругости легких бетонов 1—21
- Н. К. Снитко. К физической теории упруго-пластических деформаций, применительно к задачам устойчивости 4—24
- Т. Т. Хачатрян. Температурные напряжения в двухслойной оболочке сферой по контуру пластинки 3—31

Научные заметки

- С. В. Арутюнян. Высокотемпературное поведение удельного затвердевшего гравитационного упорядоченного сплава $Fe_{31}Al_{69}Si$ 3—54
- Г. М. Аветисян. Колебания вала с ротором в магнитном поле с учетом связей с двигателями и расщепления вращающегося вала 6—30
- Л. Д. Багдасарян. О природе активности вулканических добавок 2—36
- Е. А. Волынец. Выведение пластинок и цилиндрических оболочек под действием осевого динамического сжатия 4—48
- С. А. Гаспарян, М. Г. Стакян, С. Г. Мх. К оценке концентрации напряжений при нестационарных режимах нагружения 1—13
- А. А. Давидович. О прогнозировании срока службы извлеченной конструкции или обломка электрических машин, работающих в среде с высокой относительной влажностью и в воде 2—38
- Е. А. Нерсисян, Р. С. Баязян. Корреляционный анализ графиков активности и репиктивных импульсов пределительных трансформаторов городских сетей 1—31
- Р. А. Петросян, Е. В. Варданян. О выравнивании некоторых эмпирических распределений по обобщенному закону Рэлея 4—17
- Э. С. Саалян. Методы и синтез двухкрановых механизмов плоских механизмов с вращающимися кинематическими парами 3—64

Персоналии

Иван Васильевич Елизаров (Некролог)

3—65

Исследование систем автоматического управления методом производной аргумента. Мелкумян Д. О. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 5—9.

Предлагается новый подход к исследованию систем автоматического управления, основанный на свойствах производной аргумента. Установлен критерий устойчивости, приведены некоторые оценки параметров качества переходного процесса и разработан численный метод определения корней характеристического полинома.

Табл. 2. Библ. 4 назв.

УДК 621.031+539.62

О коэффициенте трения при нестационарном движении. Барутин М. Г. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 10—15.

Исходя из экспериментальных исследований показано, что при турбулентном режиме ускоренного движения потери энергии больше, чем при соответствующем установившемся движении. Выведена формула коэффициента трения в зависимости от отношения чисел Струхала и Рейнольдса, полученная в виде степенной функции. Показывается, что полученная степенная функция относится ко всем режимам движения, подходит к установившемуся движению.

Табл. 3. Библ. 2 назв.

УДК 621.391.152+53.087.9

Кодовый преобразователь для измерителей мощности. Акопян Г. С., Набиен Н. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 15—20.

Рассматривается кодовый датчик с применением миниатюрных катушек индуктивности для стрелочных измерителей мощности. Приведены блок-схема макетного образца и экспериментальные кривые влияния коэффициента индуктивности катушек первичных измерителей на работу датчика. Даны практические рекомендации при построении таких приборов.

Табл. 2. Илл. 3. Библ. 5 назв.

УДК 621.311+621.3017

Об одном методе минимизации потерь активной мощности в электрических сетях. Амирханян Р. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 21—28.

Рассматривается задача минимизации потерь активной мощности путем перераспределения активных мощностей генерирующих узлов с учетом ограничений по активным мощностям. Задача решается на основе метода градиентов и наискорейшего спуска. Одной из основных особенностей предлагаемого алгоритма является возможность его использования (после внесения небольших изменений) для решения задачи комплексной оптимизации режимов энергосистем с учетом потерь активной мощности в ее сетях. Приводится пример решения задачи для одной объединенной энергосистемы, эквивалентной до восьми узлов.

Табл. 1. Библ. 3 назв.

Оптимизация режимов работы сложных энергосистем с НА-ГЭС. Бурлачин Г. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 28—33.

Задача выбора оптимального режима работы НА-ГЭС в сложной энергосистеме, обусловленной ее циклической работой, рассматривается как вариационная задача с подвижными границами. Исходя из постановки, получены необходимые условия, позволяющие оптимизировать режим работы НА-ГЭС с одновременным выбором продолжительности циклов заряда и разряда. Дается методика решения задачи.

Илл. 2. Библ. 2 назв.

Оптимизация внутростанционных режимов ГЭС при наличии группового регулирования. Оляжикян Р. Р. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 34—38.

Рассматривается вопрос оптимизации внутростанционных режимов ГЭС при наличии группового регулирования. Показана реальность наличия точки «серебря» и зависимости потерь от нагрузки агрегата и ее влияние на результаты оптимизации. Получено оптимальное распределение нагрузки между работающими агрегатами в два уровня. На гидростанциях, где энергетические характеристики агрегатов не монотонно возрастающие функции и существуют две группы регулирования, не обеспечивающие полную реализацию оптимальных режимов, желательно перейти на схему регулирования, состоящую из двух групп с двумя ступенями в каждой; в этом случае сохраняется реальный эффект от оптимизации.

Табл. 1. Илл. 2. Библ. 1 назв.

Статистический метод прогнозирования суточных графиков нагрузки энергосистемы. Папян С. К. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 39—44.

Излагается статистический метод прогнозирования суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы, отличающийся простотой и дающий возможность использования ЭВМ для быстрого определения перспективных графиков нагрузки. Путем сравнения фактических графиков нагрузки Армянской энергосистемы за 1968 и 1970 гг. с прогнозом, сделанным на основе отчетных графиков за 1955—1961 гг., произведена проверка метода, которая показала его достаточную точность для перспективных расчетов при проектировании энергосистем.

Илл. 2. Табл. 1.

О выравнивании некоторых эмпирических распределений по обобщенному закону Рэлея. Петросянц Р. А., Варданян В. В. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 6, 1971, 45—50.

Эмпирическое распределение некоторых случайных величин, характеризующих точность обработки и машиностроения (радиальное биение, шероховатость, непериодичность поверхностей и т. п.), принято выравнивать по закону распределения Рэлея. В работе показано, что если

имеется систематическая ошибка этих величин, то однопараметрический закон распределения Рэлея приводит к противоречию, и в этом случае выравнивание должно быть произведено по обобщенному закону распределения Рэлея, являющемуся двухпараметрическим. Получены формулы для двух параметров этого закона распределения через эмпирические данные, составлена таблица, облегчающая определение значения этих параметров. Приведен конкретный пример.

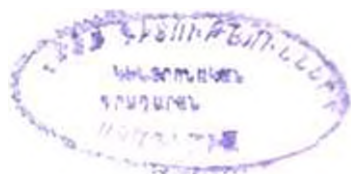
Илл. 2. Табл. 2. Библ. 3 назв.

УДК 621.824.62—26+517.9

Колебания вала с распределенной массой в круговом магнитном поле с учетом влияния обмоточного и радиального течения в материале. Асриян Г. М. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. II)», 1971, XXIV, № 6, 501—51.

Классическая теория вала-стержниной применена для вала, вращающегося в магнитном поле под действием распределенной массы. Дифференциальные уравнения колебаний вращающегося вала решаются асимптотическим методом Ботвинкова и Митропольского. Приводится пример численного решения.

Илл. 2. Библ. 3 назв.



Технический редактор
Л. А. АЗИЗБЕКЯН

ВФ 00042

изд. № 461, галат. 45

тираж 520

Подписано к печати 14/III 1972 г.

Печ. л. 4,25, бум. л. 2,14, усл. печ. л. 5,85, уч. изд. л. 3,61

Формат бумаги 70 × 108¹/₁₆

Типография Издательств АН Арм. ССР, Ереван, Барсакмунян 24

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Ք Յ ՈՒ Ն

Հաշվողական տեխնիկա

Գ.	2.	Ուղիղության, ինքնուրույն կառավարման սխեմաների հետադարձ կապով աշխատանքի մեթոդ	3
----	----	--	---

Հիմնական

ԻԳ.	2.	Քարտեզյան, Երևանի դիմադրության զործակցի մասին՝ խողովակներում ոչ-ստանդարտ շարժման դեպքում	10
-----	----	--	----

Հաշվողական տեխնիկա

Ձ.	Ո.	Հաշվարկ, Ի. Ա. Նաբիլ, Կողային հերպսիտիզի հորտոմիան շափռաների նախ	15
----	----	--	----

Էներգետիկա

Ո.	2.	Ամիրիկյան, Էլեկտրական ջանքերով ահաբեկ կորուստների միևնույն ժամանակ զերտարար	21
2.	Ա.	Սուրենյան, Բարդ Էներգետիկայի աշխատանքի ռեժիմների ուղղորդում	28
Բ.	Բ.	Հովակիմյան, ՀԷԿ-ի ներկայացուցիչն ուղղորդում խմբային կանոնադրման տնկարության ղեկավար	34
Ո.	Կ.	Պալյան, Էներգետիկայի լուծվածության ռազմական պրոֆիկների կառավարման վեճակները	39

Իրադարձություններ

Ի.	Ա.	Պետրոսյան, Վ. Վ. Վարդանյան, Որոշ լուծարիչի բաշխումների համաստեղային միջավայրի ընդհանրացում արևի միջոցով	45
2.	ԻԳ.	Սուրյան, Բարձրագույն մասնագետի լիակատար աստանդանդի շրջանային մագնիսական դաշտում՝ արժիչի հետ առնչված հատիկ նյութում էներգիայի ցրման հաշվարկով	50
2.	ԲԳ	Նուրիյի լուծարիչի լուծարման	56

СОДЕРЖАНИЕ

Вычислительная техника

- Д. О. Мельников. Исследование систем автоматического управления методом принципов аргумента

Гидравлика

- М. Г. Барисов. О коэффициенте сопротивления трения при неупругом движении в трубах

Измерительная техника

- Г. С. Зинченко, Н. Г. Павлов. Коэффициент преобразования для измерителей мощности

Энергетика

- | | |
|---|----|
| В. А. Акимович. Об одном методе минимизации потерь в линиях электропередачи электрических сетей | 21 |
| Г. А. Бондарев. Оптимальный режим работы электрических станций в ЦАЭС | 29 |
| Р. Р. Овчинников. Оптимальная внутренняя нагрузка реактора ГЭС при наличии группового регулирования | 34 |
| С. Е. Никитин. Статистический метод прогнозирования суточных графиков нагрузки энергосистем | 40 |

Научные заметки

- | | |
|---|----|
| Р. А. П. Прохорова, В. Я. Варшавский. О вычислении поперечных эмпирических распределений по обобщенному закону Рэлея | 45 |
| Г. М. Ларкин. Колебания палы в магнитном поле в крутом магнитном поле с учетом связи с дипольным излучением в материале | 50 |
| Содержание XXIV тома | 59 |