

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал издаётся с 1948 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Կ Մ Ր Ա Չ Ր Ա Վ Ա Ն Կ Ո Ղ Ե Չ Ի Ա

Վասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Աղոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ավերբուխյան Վ. Պ., Զաչյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ն.,
Սարգսյան Յու. Լ., Ստանյան Մ. Գ., Տեր-Ազարի Ի. Ա.,
Փինաբյան Վ. Պ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Գաղափարաշատու բարձրագույն Ստեփանյան Ջ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян А. В. (ответ. редактор), Адоиц Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Александровский В. В., Ахоян Р. Е., Зайонц М. А.,
Пиниджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Л.,
Стакян М. Г., Тер-Азарьев И. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Ю. П. ШАГАЕВ, В. А. ЗИМБИЦКИ, М. Г. СТАКЯН, Г. Д. ПЕТРОСЯН,
Н. С. ПСАХАНИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ
КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Повышение рабочих скоростей и производительности сельскохозяйственных машин и транспортных средств различного назначения при сохранении основных весовых и конструктивных параметров их энергоисточника (ДВС) приводит к усилению напряженности ответственных и дорогостоящих деталей, в частности, коленчатого вала. Согласно последним статистическим данным, примерно 80% отказов коленчатых валов происходит от знакопеременных изгибающих напряжений, под действием которых в галтельных переходах коренных и шатунных шеек происходит зарождение и развитие усталостных трещин. Изучение напряженного состояния в вершине трещины с учетом энергетических представлений ее развития и анализ энергетического баланса позволили разработать технологические мероприятия по повышению усталостной прочности и трещиностойкости коленчатых валов [1]. Полное использование сопротивления усталости коленчатых валов диктует необходимость подробного изучения процесса усталостного разрушения в условиях эксплуатации или стендовых испытаний и прогнозирование на этой основе их остаточного ресурса [2].

Для оценки и анализа усталостных повреждений тяжело нагруженных деталей машин наряду с традиционными все чаще применяют физические методы неразрушающего контроля, позволяющие вести дискретные или непрерывные наблюдения за процессом усталости. В основу этих методов лежит установление характера изменения физических свойств материала (магнитной проницаемости, удельной электропроводности, магнитной вязкости и др.), являющихся интегральными характеристиками структурных изменений при нарушении сплошности материала в процессе усталости. По характеру изменения этих свойств можно производить оценку характеристик сопротивления усталости, проследить за кинетикой развития микротрещины и установить их предельно допустимую длину, необходимую для определения циклической вязкости разрушения K_{1c} . Выбор метода неразрушающего контроля и контролируемых характеристик производится в зависимости от параболки

исследуемой детали, чувствительности метода и требований к точности оценки степени повреждений, способности обнаружить структурные изменения и микротрещины на ранних стадиях их возникновения и роста, а также доступности детали при измерениях и возможности производства измерений без разборки исследуемой сборочной единицы. На ранних стадиях периодического нагружения при наличии только структурных изменений в металле предпочтительными являются измерения структурно-чувствительных магнитных характеристик. При нарушении сплошности материала и появлении первых микротрещин, кроме указанных можно использовать также параметры электропроводности.

Регистрацию изменения магнитных характеристик материала (проницаемости и индукции) при испытаниях на усталость целесообразно производить магнитоферрозондовым методом, который заключается в периодическом сканировании двумя феррозондовыми преобразователями контролируемой поверхности в приложенном постоянном магнитном поле и в сравнении полученных сигналов с помощью регистрирующих приборов [3]. При этом регистрируются зависимости амплитуды и фазы спектра частот токов, возбуждаемых в изделии, от физико-механических свойств и степени повреждения материала. Это позволяет выявить малораскрытые трещины и осуществлять бесконтактный контроль с высокой скоростью [2]. Для контроля и комплексного исследования напряженно-деформированного состояния непосредственно на деталях в ИПФ АН БССР разработан ряд приборов и установок, в которых применены высокочувствительные феррозондовые преобразователи. Связь амплитуды сигнала э.д.с. высших гармоник с феррозондового преобразователя при этом основана на предложении о линейной зависимости между площадью петли гистерезиса и размером усталостной трещины. На возможность работы этого преобразователя в сильном магнитном поле было указано в [4], где метод высших гармоник применен для бесконтактного измерения деформаций в области малоциклового усталости.

В настоящей работе эти методы неразрушающего контроля в комплексе с натурными испытаниями применены для изучения кинетики развития микротрещин в коленчатых валах двигателя А-41 Алтайского моторного завода, изготовленных из стали 45 «селект». Для этого проведены испытания на усталость коленчатых валов и образцов из идентичного материала при круговом и плоском изгибе.

Результаты натурных испытаний в координатах $\lg M_n - \lg N$ обработаны известными методами математической статистики и с учетом постоянства дисперсии $\lg N (s_{\lg N}^2 \approx \text{const})$ представлены уравнениями регрессии первого порядка:

$$\lg N = (\overline{\lg N} + u \cdot s_{\lg N}) - r \frac{s_{\lg N}}{s_{\lg M_n}} (\lg M_n - \overline{\lg M_n}) = a - b \cdot \lg M_n, \quad (1)$$

где $\overline{\lg N}$, $\overline{\lg M_n}$ — координаты центра распределения; $s_{\lg N}$, $s_{\lg M_n}$ — с. к. о. $\lg N$ и $\lg M_n$; r — коэффициент корреляции; $s_{\lg N} = s_{\lg N} \sqrt{1-r^2}$ —

мера индивидуального рассеяния; $b = r \frac{s_{\lg N}}{s_{\lg M_n}}$ — коэффициент регрессии; $a = (\overline{\lg N} + u \cdot s_{\lg N}) + b \overline{\lg M_n}$; u — квантиль нормального распределения.

Для нашего случая: $\overline{\lg N} = 6,6145$; $\overline{\lg M_n} = 3,4714$; $\overline{M_n} = 2712$ Н. м ($N_0 = 10^6$): $s_{\lg N} = 0,384$; $s_{\lg M_n} = 0,0313$; $s_{\lg N} = 0,2174$; $r = -0,8243$; $b = 10,1128$.

Параметры уравнения (1) являются выборочными характеристиками, полученными при малом объеме испытаний ($n = 16$). Для выполнения уточненных расчетов и повышения степени их достоверности следует произвести проверку гипотезы о значимости выборочного коэффициента корреляции r , т. е. уточнить степень тесноты корреляционной связи между $\lg N$ и $\lg M_n$, а затем определить доверительные интервалы значений r и b . Проверка значимости r при малом объеме выборки ($n < 50$) производится согласно t -критерию Стьюдента

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} > t_{\alpha, k} \quad (2)$$

где $t_{\alpha, k}$ — табличное значение критерия при уровне значимости α и числе степеней свободы $k = n - 2$.

Доверительные интервалы коэффициента корреляции ρ для генеральной совокупности определяют, используя преобразование Фишера. Для этого вычисляют z — критерии Фишера

$$\bar{z} - t_{\alpha} \cdot s_z < Z < \bar{z} + t_{\alpha} \cdot s_z \quad \text{или} \quad z_1 < Z < z_2, \quad (3)$$

где $\bar{z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} + \frac{r}{2(n-1)}$; $s_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$; t_{α} — доверительный коэффициент, соответствующий уровню значимости α , а затем, используя переходные статистические таблицы, определяют интервал

$$r_1 < \rho < r_2 \quad (4)$$

соответствующий условию (3).

Значимость коэффициента регрессии b адекватно выполняется при соблюдении условия (2), а доверительный интервал β для генеральной совокупности определяется аналогичным образом:

$$b - t_{\alpha, k} \frac{s_{\lg N}}{s_{\lg M_n}} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} < \beta < b + t_{\alpha, k} \frac{s_{\lg N}}{s_{\lg M_n}} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \quad (5)$$

В нашем случае при $\alpha = 0,05$, $k = 14$. $t_{\alpha} = 1,96$, $t_{\alpha, k} = 2,145$ и согласно (2): $t = 5,449 > t_{\alpha, k}$, что подтверждает наличие линейной корреляционной связи между $\lg N$ и $\lg M_n$. Соответственно, доверительные интервалы равны: $0,6475 < z < 1,7333$; $0,57 < \rho < 0,9375$; $9,5398 < \beta < 10,6860$.

При всей корректности выполнения статистических исчислений по (2) — (5) для уточненной оценки параметров уравнения (1) и получения доверительной области рассеяния $\lg N$ (рис. 1), используемой в уточненных расчетах на прочность и долговечность, указанный метод расчета является математической моделью для описания лишь последнего периода усталости — окончательного разрушения и поэтому несет в себе ограниченную информацию о протекании процесса усталостного разрушения.

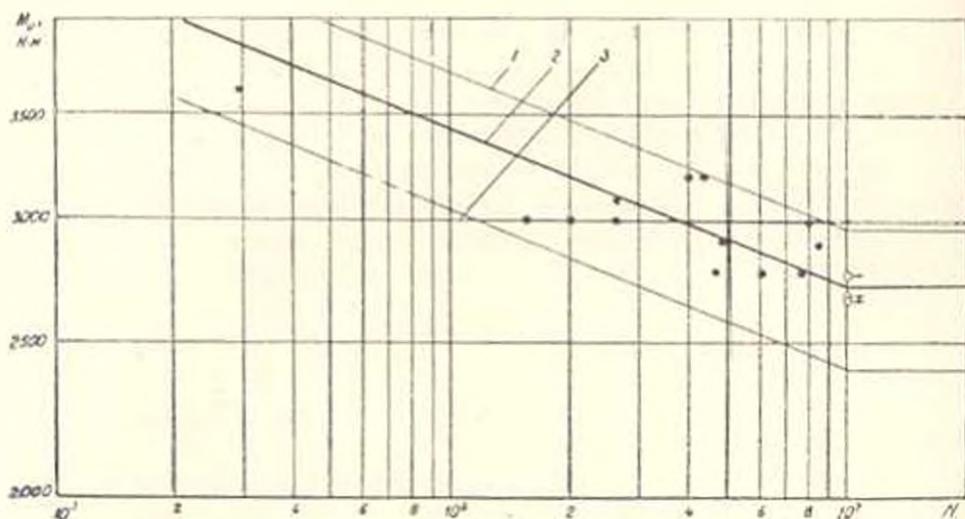


Рис. 1. Результаты усталостных испытаний коленчатых валов. Линии 1, 2, 3 соответствуют 5, 50 и 99%-ной вероятности неразрушения.

Комплексным изучением физико-механических свойств сталей 45 и 40ХН [5, 6], а также другими многочисленными исследованиями показано, что процесс усталостного разрушения может быть разделен на отдельные периоды: а) инкубационный; б) нарушения сплошности материала и появления субмикротрещин; в) стабильного роста усталостных трещин; г) нестабильного (критического) роста трещин.

В [7] предложен косвенный метод определения продолжительности действия указанных периодов. Измерениям микротвердости H_{μ} на поверхности образцов при периодическом нагружении выявлен полнообразный характер функции $H_{\mu} = f_1(N)$, экстремальные точки которой соответствуют границам периодов усталостного разрушения. Совмещая кривую усталости с семейством функции $H_{\mu} = f_1(N)$, полученной на разных уровнях перенапряжений, построили диаграмму усталости с линиями равной повреждаемости, соединяющими указанные экстремальные точки.

Для повышения точности и достоверности полученных результатов целесообразно при построении аналогичных диаграмм использовать прямые методы измерения магнитных характеристик, учитывающих интегральный эффект воздействия процесса усталости. К их числу от-

ваются магнитная вязкость и параметры магнитной индукции. Ранее проведенные опыты [5] показали возможность применения магнитной вязкости τ для описания этих процессов. При испытаниях образцов из стали 45 круговым изгибом при напряжениях, ниже предела выносливости значения τ остаются неизменными (рис. 2 — линии H и J). В области многоциклового усталости измерения τ хорошо фиксируют начало зарождения микротрещин в поверхностных слоях образца, а по мере их накопления значения τ монотонно растут. Градиент τ значительно выше при высоких переиснапряжениях, на стадии стабильного роста усталостных трещин.

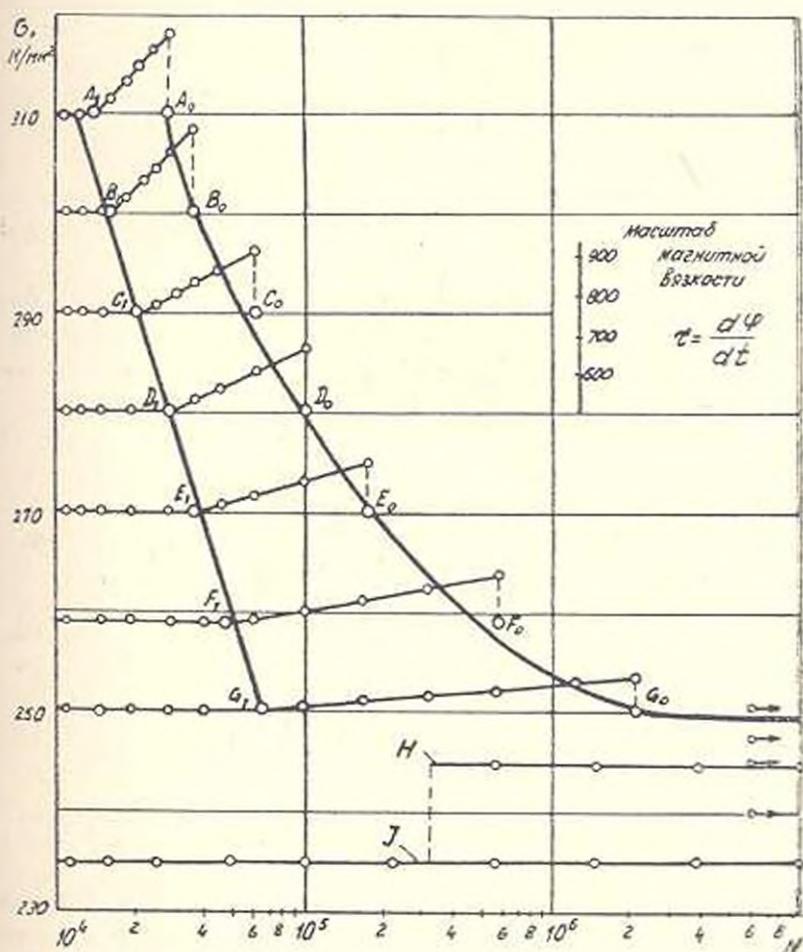


Рис. 2. Изменение магнитной вязкости τ от циклической долговечности (круговой изгиб образцов из стали 45).

Достоверность описания начального периода трещинообразования измерениями τ подтверждена также другими инструментальными методами исследования [5, 6], поэтому совмещение кривой усталости и функций $\tau = f_s(N)$ дает диаграмму усталости (рис. 2), которая наряду с оценкой сопротивления усталости деталей может быть использована

для получения информации о кинетике развития микротрещин. При этом линия равной повреждаемости A_1-G_1 соответствует началу зарождения трещин, а A_0-G_0 — окончательному разрушению. Учитывая инвариантность значения τ к циклической долговечности при напряжениях $\sigma_i \leq \sigma_R$, указанный метод может быть использован для ускоренного определения предела выносливости при испытании (1—2) образцов.

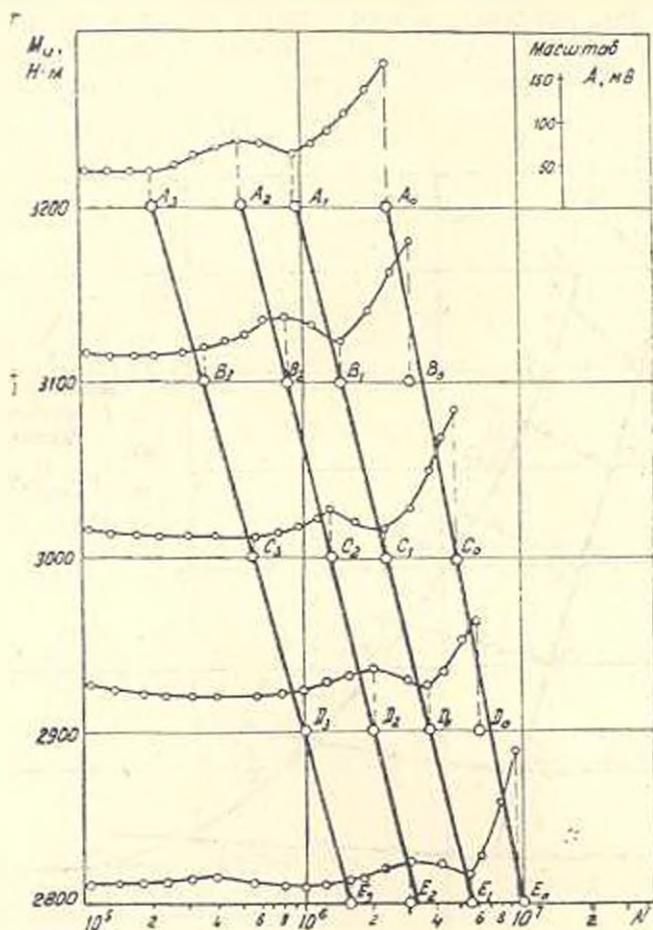


Рис. 3. Уменьшение приращения амплитуды э. д. с. A от циклической долговечности (плоский изгиб образцов из стали 40XII).

При помощи микроферрозондового преобразователя исследовалось также влияние периодического нагружения на характер приращения амплитуды сигнала э.д.с. II гармоники A , пропорциональной нормальной составляющей магнитного потока рассеяния (испытания плоских образцов из стали 40XII при циклическом изгибе). В отличие от τ , величина A до нарушения сплошности материала хотя практически остается постоянной, но ее значение зависит от уровня перегрузок. Графики функции $A = f_2(N)$ после появления кривых субмикротрещин приобретают немонотонный и волнообразный характер, а абсолютные значения A зависят от уровня M_n . В целом, функция $A = f_2(N)$ по

сравнению с предыдущей обладает большей информативностью и может быть использована для дифференциальной оценки продолжительности действия периодов усталостного разрушения. Поступая аналогичным образом, получаем новую диаграмму усталости (рис. 3), в которой представлены линии равной повреждаемости, соответствующие началу развития: A_3-E_3 — субмикротрещин; A_2-E_2 — стабильных микротрещин; A_1-E_1 — нестабильных трещин, а линия A_0-E_0 — окончательному разрушению.

Графики функции $\tau = f_2(N)$ и $A = f_3(N)$ получены по результатам ограниченного объема испытаний и являются математическим описанием процесса трещинообразования, который в первом приближении можно считать случайным стационарным процессом. С учетом естественного рассеяния результатов испытаний на усталость зависимости $\tau = f_2(N)$ и $A = f_3(N)$ являются случайными функциями от циклической долговечности и поэтому для повышения точности и достоверности полученных диаграмм усталости и их использования в инженерных расчетах необходима оценка функций τ и A известными методами теории случайных процессов.

Рассмотренные методы исследования и контроля усталостных повреждений ответственных деталей и конструкций позволяют определить степень повреждаемости и производить диагностирование процесса усталости, а оценкой пороговых значений циклической вязкости разрушения K_{1c} выявлять техническое состояние деталей с трещинами с целью прогнозирования их остаточного ресурса. Они позволяют также установить предельные повреждения для своевременного производства планово-предупредительных работ и исключения вероятности протоев или аварий, вызванных внезапными усталостными разрушениями.

ИПФ АН БССР,
ЕрПИ им. К. Маркса

26 VI 1985

ՅՈՒ. Պ. ԱՎԻԱԵՎ, Վ. Ա. ԶԻՐԻՅԵԿ, Մ. Կ. ԱՍԿՅԱՆ,
Պ. Պ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ն. Ա. ԽԱՆԱՆՅԱՆ

ՄԵԿԱԶԵՎ ԻՐՈՒԹՅՆԵՐԻ ԶՈՐԴԱՆՈՅԻՆ ԲԱՅՔԱՅՄԱՆ ԳՐԳՅԵՄԻ
ՎԵՐԱԶՈՎՄԱՆ ԽՎ ԶԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ
ՏԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Շարադրված են Ա-41 տրակտորային շարժիչի ծեփածն լիսեռի և նույն նյութից պատրաստված փորձանմուշների հոդնածային դիմադրության կոմպլեքսային հետադրաման արդյունքները: Առանց բաշքայման վերահսկման ժամանակակից մեթոդներով (մագնիսաֆերոդոնդային, մրրկային հոսանքների) ծեփածն լիսեռներում և փորձանմուշներում հետադրաման է հոդնածային բաշքայման պրոցեսը, որը թույլ է տվել կառուցել բոդնածային դիագրամներ՝ հավասար վնասոժմորային դժերով, որոնք համապատասխանում են հոդնածային բաշքայման հիմնական փուլերի սահմաններին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Краичук С. П., Зимницкий В. А., Стахми М. Г., Петросян Г. Д. Кинетика развития усталостных трещин в шлицах колесчатых валов. — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1981, т. XXXVII, № 6, с. 3—10.
2. Почтенный Е. К., Ракицкий А. А., Шагаев Ю. П. Оценка степени усталостного повреждения и прогнозирование остаточного ресурса деталей машин (методические указания. — Минск, 1981 — 32 с. (Проприит/Питч пробл. проч. и долг. маш. АН БССР: АТО9924).
3. А. с. 824019 (СССР) Способ контроля физико-механических параметров ферромагнитных материалов и преобразователь для его определения/Ю. П. Шагаев. — Опубл. в Б.И., 1981, № 15.
4. Зацепин Н. Н., Шапоров Б. Д., Шагаев Ю. П. Контроль приложенных напряжений методом высших гармоник — В сб.: Авиационные материалы. Дефектоскопия материалов. ОНТИ, ВИАМ, 1979, вып. 6, с. 96—100.
5. Шагаев Ю. П. Исследование закономерностей усталостного разрушения стальных образцов электромагнитными методами контроля. — Дефектоскопия, 1970, № 5, с. 115—119.
6. Шагаев Ю. П. Выявление усталостной повреждаемости клепанных пластин компрессоров. — Изв. АН БССР (сер. физ.-техн. наук), 1980, № 3, с. 105—109.
7. Олейник Н. В., Шагаев Ю. П., Стахми М. Г., Исханян Н. С. Исследование распределения микротвердости усталостного вала с целью диагностирования причин разрушения деталей. — В сб.: Тез. докл. II Республ. конф. по повыш. надеж. и долг. маш. и сооруж. Днепропетровск, окт. 1985. — Киев: Наукова думка, 1985, с. 130—131.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

М. И. МОГИЛЕВСКИЙ, Ю. А. ГАСПАРЯН, В. В. ЗОРИН

О ПРОХОЖДЕНИИ ЗВУКА ИЗ ОБЪЕМА ПОМЕЩЕНИЯ
 В ВОЗДУХОВОД

Расчет прохождения звука из некоторого объема в присоединенный к нему волновод имеет теоретический и практический интерес. Он необходим, например, при определении звуковой энергии, проникающей из одного помещения по воздуховодам систем вентиляции в другие помещения.

Покажем, что потери энергии при прохождении звука из объема и волновод совпадают с потерями энергии, обусловленными отражением звука от конца волновода при излучении его из волновода в объем. Рассмотрим систему (рис. 1), состоящую из объема 1 и волновода 2. Открытый конец волновода может выступать в объем или заканчиваться заподлицо со стенкой объема. Выберем произвольные точки в объеме T_1 и волноводе T_2 . Предположим, что для рассматриваемой системы выполняются условия, при которых справедлив принцип взаимности [1]. Это имеет место, в частности, если граничные условия являются импедансными, т. е. на поверхностях помещений и воздуховодов с жесткими стенками.

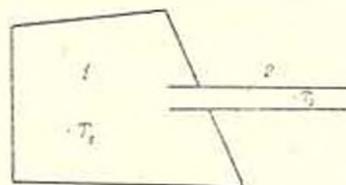


Рис. 1. Акустическая система:
 1 — объем; 2 — волновод.

В соответствии с принципом взаимности при гармонических колебаниях звуковое давление P_{12} в точке T_1 , возбуждаемое единичным источником звука, расположенным в T_2 , равно звуковому давлению P_{21} в точке T_2 при единичном источнике, расположенном в T_1 , т. е.

$$P_{12} = P_{21}. \tag{1}$$

Пусть теперь на открытом конце волновода установлено согласующее устройство, например, рупор, устраняющее отражение звука. В этом случае на основании принципа взаимности

$$\bar{P}_{12} = \bar{P}_{21}, \tag{2}$$

где \bar{P}_{12} и \bar{P}_{21} — звуковое давление в новой системе в прежних точках от тех же источников.

Снижение звуковой энергии, излучаемой в помещении открытым концом волновода, характеризуется величиной

$$\Delta L = 10 \lg \left(\frac{\langle \bar{P}_{11}^2 \rangle}{\langle P_{11}^2 \rangle} \right), \quad (3)$$

где знак $\langle \rangle$ означает усреднение по времени.

Найдем связь между ΔL и потерями при передаче звуковой энергии из объема в волновод. Пренебрегая быстрозатухающими неоднородными волнами, возбуждаемыми на открытом конце, звуковое поле в волноводе представим в виде суммы свободных волн, распространяющихся на данной частоте [2]:

$$p_{z1} = \sum_n A_n \psi_n \cos(\omega t - k_n z - \varphi_n); \quad (4)$$

$$p_{z1} = \sum_n \bar{A}_n \bar{\psi}_n \cos(\omega t - k_n z - \bar{\varphi}_n).$$

Суммирование в формуле (4) осуществляется только по распространяющимся волнам $n = 0, 1, 2, \dots$, где ω — угловая частота колебаний; k_n — проекция волнового вектора для данной волны на ось волновода z ; $k_n \leq k$; k — волновое число; A_n, \bar{A} — постоянные коэффициенты; $\varphi_n, \bar{\varphi}_n$ — начальные фазы; ψ_n — собственные функции, ортогональные и нормированные условием

$$\int_S \psi_n^2 ds = 1, \quad (5)$$

где S — площадь поперечного сечения волновода; t — время. Проекция на ось z колебательной скорости частиц в волноводе составит, соответственно:

$$V = (\omega \rho)^{-1} \sum_n A_n k_n \psi_n \cos(\omega t - k_n z - \varphi_n); \quad (6)$$

$$\bar{V} = (\omega \rho)^{-1} \sum_n \bar{A}_n k_n \bar{\psi}_n \cos(\omega t - k_n z - \bar{\varphi}_n).$$

Средняя по времени звуковая мощность, переносимая через поперечное сечение волновода, на основании (4) — (6) равна

$$W = (2\omega \rho)^{-1} \sum_n k_n A_n^2, \quad \bar{W} = (2\omega \rho)^{-1} \sum_n k_n \bar{A}_n^2. \quad (7)$$

На частотах, ниже граничной частоты волновода ($f < f_c$), распространяется только нулевая волна: $A_n = 0$, $n = 1, 2, \dots$

Из формул (1) — (3), (7) следует, что

$$\frac{\bar{W}}{W} = \frac{\langle \bar{P}_{11}^2 \rangle}{\langle P_{21}^2 \rangle} = \frac{\langle \bar{P}_{11}^2 \rangle}{\langle P_{12}^2 \rangle},$$

поэтому

$$\Delta L = \Delta L_c = 10 \lg (\bar{W}_l / W).$$

Таким образом, потери при излучении звуковой энергии из волновода в объем совпадают с потерями при передаче энергии из объема в волновод.

На частотах, выше граничной, звуковое давление и колебательная скорость распределены неравномерно по сечению воздуховода. Поэтому усредним звуковое давление в волноводе по его поперечному сечению и времени. Имеем:

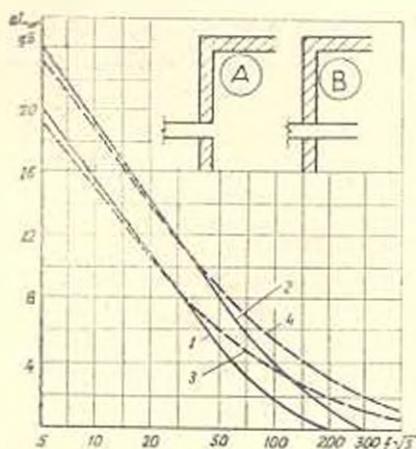
$$\langle P_{10}^2 \rangle = \langle P_{21}^2 \rangle = \frac{1}{2} \sum_n A_n^2; \quad \langle \bar{P}_{12}^2 \rangle = \langle \bar{P}_{21}^2 \rangle = \frac{1}{2} \sum_n A_n^2.$$

Здесь знак $\langle \rangle$ понимается шире, чем в формуле (3) — он означает усреднение по времени и пространству. Поэтому $\langle P_{12}^2 \rangle$ и $\langle \bar{P}_{12}^2 \rangle$ — средние квадраты звукового давления в T_1 по времени и по положению единичного источника в поперечном сечении волновода, проходящем через T_1 .

Тогда

$$\Delta L = \left(\frac{\sum_n \bar{A}_n^2}{\sum_n A_n^2} \right), \quad \Delta L = \left(\frac{\sum_n k_n \bar{A}_n^2}{\sum_n k_n A_n^2} \right). \quad (8)$$

Рис. 2. Снижение уровня звуковой мощности $\Delta L_{\text{к}}$ при передаче звука из объема в волновод. А — волновод заканчивается заподлицо со стенкой объема, В — волновод выступает в объем. 1, 2 — расчетные значения; 3, 4 — опытные значения; f — частота колебаний, Гц; S — площадь поперечного сечения волновода.



Известно, что в звуковых полях в волноводах преобладают волны с низкими номерами, т. е. величина A_n убывает с ростом n . Кроме того, с ростом номера волны монотонно убывает и величина k_n [2], так что в суммах $\sum_n k_n \bar{A}_n^2$ и $\sum_n k_n A_n^2$ увеличивается вклад свободных волн с меньшими (низкими) номерами по отношению к их вкладу в суммах $\sum_n \bar{A}_n^2$ и $\sum_n A_n^2$. Если учесть при этом, что $k_n \rightarrow k$ при $n \rightarrow 0$ и (или) при росте частоты ω , то из формул (8) следует, что после граничной частоты также имеет место соотношение $\Delta L = \Delta L_{\text{к}}$. Таким образом, потери энергии при передаче звука из объема в волновод совпадают с потерями энергии при излучении звука из волновода в объем.

На рис. 2 приведены расчетные значения потерь энергии (звуковой мощности) при передаче звука из объема в волновод и измеренные опытным путем в Институте отопления, вентиляции и основ строительной техники (г. Берлин, ГДР). Расчетные значения, которые на основании сказанного приравниваются равным потерям энергии при излучении звука из волновода в объем, хорошо согласуются с экспериментальными.

ЕрПН им. К. Маркса

15. V. 1985

Մ. Ի. ԽՈՒՆՎԻՍԻՍԻ, ՅՈՒ, Ա ԴԱՌՊԱՐՅԱՆ, Վ. Վ. ԶՈՐԻՆ

ՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՑ ԴԵՊՒ ՕԿՍՆԱՂՈՐԻԱՓՈՂ ԶԱՅՆԻ ԱՆՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Փոխադարձության սկզբունքի հիման վրա քննարկված է ձայնային էներգիայի կորուստների տեսական հաշվարկը օդահաղորդափողից դեպի շինություն ճառագայթման դեպքում:

Թերված են ձայնային հղորսության կորուստների հաշվարկային արժեքները, ևր ձայնը հաղորդվում է շինությունից դեպի օդահաղորդափող և հակառակը, որոնք համընկնում են փորձնական ավյալների հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Morse P. M., Ingard U. U. Theoretical acoustics. — New York: Mc Graw Hill Book Co, 1968 — 917 p.
2. Исакович М. А. Общая акустика. — М.: Наука, 1973. — 496 с.

ЭНЕРГЕТИКА

М. А. БАЛАБЕКЯН, Г. С. МАРКАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ БОЛЬШИХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛАБОЗАПОЛНЕННОЙ МАТРИЦЫ ЯКОБИ

Введение. При анализе электроэнергетических систем с помощью ЭВМ наиболее часто выполняются расчеты установившихся режимов. Они чаще применяются при планировании, эксплуатации и управлении электроэнергетических систем. С разработкой эффективных вычислительных алгоритмов эти расчеты используются также при оценке надежности больших систем и определении экономичных (оптимальных) режимов. В настоящее время существует много методов расчета потокораспределения, среди которых выгодно отличается метод Ньютона—Рафсона. Квадратичная сходимость метода Ньютона—Рафсона быстрее, чем любого другого расчета потокораспределения, однако его реализация может оказаться неэффективной по затратам машинного времени и памяти. Благодаря работам по использованию слабой заполненности [1—3] при программировании решения нелинейных задач выявились большие преимущества и целесообразность применения метода Ньютона—Рафсона. Цель данной работы — разработка алгоритма расчета установившихся режимов энергосистем методом Ньютона—Рафсона с использованием слабозаполненной структуры матрицы Якоби, осуществляемой с помощью упорядоченного исключения.

Постановка и решение задачи. Для заданной электрической сети уравнения узловых напряжений при Y-форме задания состояния сети можно представить в виде:

$$\sum_{j=1}^n Y_{ij} U_j = I_i - Y_{ia} U_a, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где I_i — вектор узловых комплексных токов, определяемый как

$$I_i = \frac{S_i}{U_i}; \quad (2)$$

$S_i = P_i - jQ_i$ — вектор комплексных мощностей в узлах; $Y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij}$ — матрица комплексных узловых проводимостей;

$\vec{U}_i = U_i + jU_i'$ — вектор комплексных напряжений в узлах; $Y_{i0} = g_i^0 + jb_i^0$ — вектор-столбец матрицы Y_{i0} , соответствующий базисному узлу; $U_{i0} = U_{i0} + jU_{i0}'$ — комплексное напряжение базисного узла; n — число узлов в системе.

Подставляя (2) в (1), получаем:

$$S_i - \vec{U}_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} \vec{U}_j - \vec{U}_i Y_{i0} U_{i0} = 0. \quad (3)$$

Уравнения (3) нелинейны и решаются итеративным способом. На первой и промежуточных итерациях уравнения не удовлетворяются, поскольку существует дисбаланс мощностей

$$\Delta S_i = S_i - \vec{U}_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} \vec{U}_j - \vec{U}_i Y_{i0} U_{i0}. \quad (4)$$

Значение ΔS стремится к нулю на конечной итерации. Выделяя действительную и мнимую части, соответствующие активным и реактивным мощностям узла i , уравнения (4) принимают вид:

$$\left\{ \begin{aligned} f_{P_i} = \Delta P_i = P_i - \sum_{j=1}^n g_{ij}(U_i U_j + U_i' U_j') + \sum_{j=1}^n b_{ij}(U_i U_j' - U_i' U_j) + \\ + U_i(g_i^0 U_{i0} - b_i^0 U_{i0}') + U_i'(g_i^0 U_{i0}' + b_i^0 U_{i0}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ f_{Q_i} = \Delta Q_i = Q_i + \sum_{j=1}^n g_{ij}(U_i U_j' - U_i' U_j) + \sum_{j=1}^n b_{ij}(U_i U_j + U_i' U_j') - \\ - U_i(g_i^0 U_{i0}' + b_i^0 U_{i0}) + U_i'(g_i^0 U_{i0} - b_i^0 U_{i0}') = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \right. \quad (5)$$

где дисбалансы ΔP_i и ΔQ_i стремятся к нулю на конечной итерации.

Из (5) видно, что каждому узлу соответствуют четыре переменные P_i , Q_i , U_i , U_i' . Для решения уравнения задаются двумя переменными и определяют остальные. В статье рассматривается случай, когда в балансирующем узле заданы U_i и U_i' , а в остальных узлах — P_i и Q_i . При этом необходимо определить для балансирующего узла P и Q , а для остальных — U_i и U_i' .

Для решения задачи потокораспределения, сформулированной в виде (5), применяется метод Ньютона—Рафсона. Применяя к системе нелинейных алгебраических уравнений (5) итерационный метод Ньютона—Рафсона, получаем:

$$\begin{bmatrix} U_i \\ U_i' \end{bmatrix}^{k+1} = \begin{bmatrix} U_i \\ U_i' \end{bmatrix}^k - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{P_i} / \partial U_i}{\partial f_{Q_i} / \partial U_i} \\ \frac{\partial f_{P_i} / \partial U_i'}{\partial f_{Q_i} / \partial U_i'} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} f_{P_i} \\ f_{Q_i} \end{bmatrix} \quad (6)$$

или же

$$W(X^{(k)}) \cdot \Delta X^{(k)} = -f(X^{(k)}), \quad (7)$$

$$\text{где } \Delta X^{(k)} = \left[\frac{U_i'}{U_i} \right]^{k+1} - \left[\frac{U_i'}{U_i} \right]^k; \quad W(X^{(k)}) = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial f_{p_1} / \partial U_i}{\partial f_{q_1} / \partial U_i} \dots \frac{\partial f_{p_i} / \partial U_i}{\partial f_{q_i} / \partial U_i} \end{array} \right]$$

$$\text{матрица Якоби; } f(X^{(k)}) = \begin{bmatrix} f_{p_1} \\ f_{q_1} \end{bmatrix}.$$

Значения неизвестных для следующей итерации определяются следующим образом:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k)}. \quad (8)$$

Процесс повторяется, пока не будет получено достаточно точное решение

$$\Delta X^{(k)} = X^{(k+1)} - X^{(k)} < \epsilon. \quad (9)$$

Обычно для большинства практических задач требуются лишь три-четыре итерации.

Матрица Якоби имеет такую же слабозаполненную структуру, как и матрица узловых проводимостей Y_{ij} . Поэтому решаем уравнение (7), используя слабозаполненность матрицы по методу оптимального упорядоченного разложения матрицы на треугольные множители [4, 5]. Метод состоит из двух частей: а) схемы упорядочения операций, которые обеспечивают сохранение разреженности первоначальной схемы; б) схемы записи операций разложения матрицы на треугольные множители. Любую часть метода можно применять независимо, однако наибольший выигрыш достигается при совместном использовании обеих частей, что и применено в данной статье. Обычно разложение достигается исключением элементов в последовательных столбцах ниже главной диагонали. С точки зрения программ машинного вычисления разреженной матрицы гораздо выгоднее исключить элементы в последовательных строках. С точки зрения эффективности расчета алгоритм упорядочения применяют до приведения матрицы к треугольному виду. Существуют некоторые эффективные алгоритмы упорядочения матрицы. Нами применен следующий принцип. Строки матрицы первоначально нумеруются, согласно внешнему критерию (по номерам узлов энергосистемы), а затем перенумеровываем в соответствии с нижеложенным алгоритмом. Нумерация строк производится таким образом, что на каждом шаге процесса следующей, подлежащей обработке, становится строка с наименьшим числом ненулевых членов. Если более чем одна строка удовлетворяет этому критерию, то выбирается любая из них. После перенумерации всей матрицы согласно [4] определяем таблицу множителей

$$\begin{array}{cccc} d_{11} & u_{12} & u_{13} & \dots & u_{1n} \\ l_{21} & d_{22} & u_{23} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} & \dots & d_{nn} \end{array} \quad (10)$$

После этого определяем некоторые специальные матрицы, выраженные через элементы таблицы множителей (10). Эти матрицы отличаются от единичной матрицы только отмеченными строками и столбцами:

$$D_i\text{-строка } i = (0, 0, 0, \dots, d_{ii}, 0, 0, \dots, 0, 0);$$

$$L_i\text{-столбец } i = (0, 0, 0, \dots, 1 - l_{i,i+1}, -l_{i,i+2}, \dots, -l_{i,n-1}, -l_{i,n});$$

$$U_i\text{-строка } i = (0, 0, 0, \dots, 1, -u_{i,i+1}, -u_{i,i+2}, \dots, -u_{i,n-1}, -u_{i,n}).$$

Имея матрицы D_i , L_i и U_i , решение можно получить следующим уравнением [4]:

$$U_1 U_2 \dots U_{n-1} D_n L_{n-1} D_{n-1} L_{n-2} D_{n-2} \dots L_2 D_2 L_1 D_1 f(x) = \Delta X. \quad (11)$$

Значения неизвестных для следующей итерации определяются по уравнению (8). Процесс повторяется, пока не будет получено достаточно точное решение.

По вышеуказанному алгоритму составлена Фортран-программа, с помощью которой производится расчет установившихся режимов больших энергосистем.

Մ. Ա. ԲԱՎԱՐԵԿՅԱՆ, Հ. Ս. ԽԱՐԳՈՐՅԱՆ

ՄԵՍ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԱՍՏԱՏՎԱԿ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ՝ ՍԱԿԱՎ ԼՐԱՑՎԱԿ ՅԱԿՈՐՅԱՆ ՄՍՏՐԻՅԱՅԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ու մ

Էլեկտրաէներգետիկական համակարգերի հաստատված ռեժիմների հաշվարկման ժամանակ օգտագործվող մի շարք մեթոդներից կարելի է առանձնացնել Նյուտոն-Ռաֆսոնիներ, որն ապահովում է ոչ գծային հավասարումների համակարգի լուծման ավելի արագ զուգամիտում: Սակայն այդ մեթոդը կարելի է օգտագործել ոչ միշտ, քանի որ նրա իրագործումը շահավետ չի էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի օպերատիվ հիշողության սահմանափակումից և հաշվարկման ժամանակի մեծության պատճառով:

Այդ մեթոդով մեծ էլեկտրահամակարգերի հաստատված ռեժիմների ոչ գծային հավասարումների համակարգի արագ և հուսալի լուծման համար առաջարկվում է օգտագործել սակավ լրացված Ֆակորյան մատրիցաները, և ամեն մի ինտերացիայում գծային հավասարումների լուծման ժամանակ կիրառել կարգավորված արտաքսման հղանակը: Սակավ լրացված մատրիցայի բաղադրատեղիների միջոցով լուծելով հավասարումների համակարգը՝ կարելի է հասնել մեքենայական ժամանակի և օպերատիվ հիշողության էական կրճատման:

ЛИТЕРАТУРА

1. Тьюрсон Р. Разреженные матрицы.— М.: Мир, 1977.— 189 с.
2. Брамерлер А., Аллан Р., Хемел Я. Слабозаполненные матрицы.— М.: Энергия, 1979.— 192 с.
3. Джордж А., Лю Дж. Численное решение больших разреженных систем уравнений.— М.: Мир, 1984.— 333 с.
4. Тинней В. Ф., Уолкер У. В. Прямые решения квазиблочных уравнений цепей оптимально упорядоченным разреженным матрицы на треугольные сомножители.— ТИИЭР, 1967, т. 55, № 11, с. 31—40.
5. Агашиян Л. А., Балабекян М. А. Метод решения задачи потокораспределения в энергетических системах.— В кн.: Тез. докл. 11 науч.-техн. конф. молод. уч. АрмНИИЭ.— Ереван: 1979, с. 21—25.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

К. А. АЛИХАНИЯ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

При проектировании современных технических средств наряду с повышенными требованиями по надежности выдвигаются и требования минимальной материалоемкости. Применительно к низковольтным асинхронным электродвигателям (АД) общепромышленного назначения мощностью 60—550 Вт указанные требования реализованы поэтапно: модернизацией двигателей 4А (двигатели 4ААМ) и разработкой новой серии АИ. Двигатели основного исполнения серии АИ высотой оси вращения (*в.о.в.*) 45—63 мм по сравнению с 4А и 4ААМ соответствующих *в.о.в.* должны иметь следующие принципиальные отличия: низкий уровень звука, меньшую массу и повышенную надежность.

Уровень звука двигателей 4ААМ, в среднем, на 5 дБА ниже уровня звука двигателей 4А, а для двигателей АИ с привязкой мощности к установочным размерам в соответствии с нормами «Сепетек» указанное снижение звука должно достигать до 10 дБА. Двигатели 4ААМ и АИ по своим техническим характеристикам наиболее существенно отличаются по показателям надежности. Если двигатели 4ААМ имеют вероятность безотказной работы (ВБР) 0,9 за наработку 10000 ч, то двигатели АИ должны иметь такую же ВБР за 20000 ч наработки. Обеспечение упомянутой повышенной надежности двигателей осложнено тем, что оно должно сопровождаться уменьшением материалоемкости. Последнее может существенно снизить надежность изделия, если на стадии его проектирования недостаточно строго оценить запасы прочности и жесткости выбранных узлов и элементов. Повышения надежности двигателей с уменьшением массы конструктивных элементов возможно лишь при наличии: а) определенной информации о причинах отказов и показателях надежности двигателей базовых конструкций; б) расчетных и экспериментальных методов оценки тех или иных предполагаемых конструктивных изменений базовых двигателей.

Анализ стендовых испытаний и подконтрольной эксплуатации показал, что отказы обмотки составляют 64% от общего количества отказавших машин, при этом по характеру повреждения обмоток отказы двигателей серии 4А с *в.о.в.* 50—60 мм распределяются следующим образом: межвитковые замыкания — 80%; повреждения межфазной изоляции —

5%; пазовой изоляции — 3%. Отказы подшипниковых узлов составляют 36% от общего количества отказов, при этом основной их причиной является высыхание смазки. Результаты подконтрольной эксплуатации также подтвердили упомянутое распределение отказов обмотки и подшипниковых узлов двигателей.

На этапе проектирования серии АИ с в.о.в. 45—63 мм обеспечение низкого уровня шума, снижение материалоемкости и повышение надежности были достигнуты рядом конструктивных изменений двигателей базой конструкции:

- оптимальным расчетом поперечной геометрии двигателей;
- применением узких подшипников с улучшенными показателями шума и надежности (расчетный ресурс 20000 ч, ВБР не ниже 0,9 при 20000 ч наработки);
- использованием высокопрочного алюминиевого сплава для подшипниковых щитов и корпуса и новых сочетаний посадок замковых поверхностей узлов электродвигателей;
- уменьшением коэффициента заполнения паза и применением обмоточного провода с изоляцией класса нагревостойкости F;
- разработкой нового вентиляционного узла;
- введением в технологию обработку сердечника статора для обеспечения равномерности воздушного зазора;
- использованием четырехразъемных литформ для литья станин.

Уменьшение массы двигателей АИ по сравнению с 4ААМ было достигнуто за счет уменьшения массы станин и подшипниковых щитов (табл. 1).

Таблица 1

в. о. в. двигателя, мм	Масса станин и подшипниковых щитов, кг		
	4А	4ААМ	АИ
50	1,05	1	0,602
56	1,23	1,06	0,92
63	1,43	1,3	1,03

Применение обмоточного провода с изоляцией класса нагревостойкости F и уменьшение коэффициента заполнения K_p влияют только на надежность межвитковой изоляции. Указанное влияние было расчетно оценено на этапе проектирования двигателей и соответственно с отраслевым стандартом ГОСТ 16 0. 800. 821-81 (табл. 2).

Сравнительная оценка надежности подшипниковых узлов двигателей 4ААМ и АИ осуществлена по методике, разработанной НИИЭлектромаш (РТМ 16. 800. 717-79). Как показали расчет ВБР подшипниковых узлов двигателей АИ при наработке 20000 ч, примерно, в два раза выше ВБР подшипниковых узлов двигателей 4ААМ и 4А.

Применение высокопрочного алюминиевого сплава позволило повысить жесткость и виброактивность подшипниковых щитов, оценка которых была выполнена различными теоретическими моделями.

Таблица 2

в. о. в. двигателя, мм	4ААМ		АИ	
	K_s	P_s (т-20000 ч)	K_s	P_s (т-20000 ч)
45	—	—	0,66	0,95
50	0,71	0,9	0,67	0,935
56	0,7	0,93	0,7	0,96
63	0,72	0,92	0,7	0,95

В основу формул расчета жесткости щита были положены результаты решения плоской задачи теории упругости о напряженном состоянии толстостенного цилиндра, находящегося под воздействием внутреннего давления [1]:

$$K = \frac{2hE(D_1^2 - D_2^2)}{(1-\nu)D_2^2 + (1+\nu)D_1^2}, \quad (1)$$

где h — толщина щита, м; E — модуль упругости материала щита; D_1 — наружный диаметр щита, м; D_2 — внутренний диаметр отверстия щита, м; ν — коэффициент Пуассона материала щита.

Определение частот собственных колебаний (ч.с.к.) щитов осуществлялось по схеме колебаний кольцевых пластин с нагруженным внешним контуром и свободным внутренним [2]. Использование конечного решения классической задачи позволяло получить следующую формулу для расчета ч.с.к. щитов:

$$f = \frac{hK_s^2}{\pi D_1^2} \sqrt{\frac{Eg}{3(1-\nu^2)\gamma}}. \quad (2)$$

где K_s — коэффициент, зависящий от отношения внутреннего и наружного диаметров щита [2]; γ — удельный вес материала щита.

Расчеты для двигателей 4А (4ААМ) и АИ, проведенные по формулам (1) и (2), показали, что принятые меры по увеличению жесткости конструкций щитов смещают их частоты собственных колебаний в область высокочастотных (менее опасных) колебаний и увеличивают радиальную жесткость щитов, в среднем, на 30%. Упомянутый эффект при одних и тех же силовых возбуждениях значительно увеличивает долговечность подшипниковых узлов и вибростойкость щитов, что положительно влияет на надежность двигателей.

Применение нового, более прочного сплава в двигателях АИ по сравнению с 4ААМ (АК10М3 взамен АК7) заметно увеличило вибропрочность соединения «щит—станция», что обеспечило стабильность воздушного зазора двигателей в процессе их длительной эксплуатации. Оценка вибрационной прочности соединения «щит—станция» осуществлялась по теоретической модели, предложенной в [3]. Упругое пере-

мещение δ_0 точек соединения по линии действия динамической нагрузки $F = q \sin \omega t$ определяется формулой

$$\delta_0 = 0,83 \Delta_0 \left(\frac{F' K_n}{d \Delta_0} \right)^{\frac{2}{3}},$$

где Δ_0 — диаметральный зазор соединения, м; F' — суммарная погонная нагрузка по дуге контакта соединения, Н; d — диаметр поверхности контакта, м; K_n — коэффициент контактной податливости соединения, м³/Н; q — амплитуда динамической нагрузки, Н; ω — частота нагрузки, Гц.

Опыты показывают, что для цилиндрического контакта из сплава алюминия марки АК7 коэффициент $K_n = 0,29 \cdot 10^{-11}$, а для соединения из сплава АК10М3: $K_n = 0,2 \cdot 10^{-12}$.

Так как

$$F' = \frac{F}{\pi a} = \frac{q \sin \omega t}{\pi a},$$

где a — ширина замка «щит—станина», то получаем:

$$\delta_0 = 8,3 \cdot 10^{-7} \frac{q K_n \sin \omega t}{\pi a d} \text{ м}; \quad \delta_{0 \max} = 8,3 \cdot 10^{-7} \frac{q K_n}{\pi a d} \text{ м}. \quad (3)$$

Таким образом, упругое перемещение точек контакта замковой поверхности «щит—станина» прямо пропорционально коэффициенту податливости контакта. При равных условиях нагружения и геометрии замковых поверхностей соединение «щит—станина» двигателей 4АМ имеет упругое перемещение в 1,4 раза больше, чем для двигателей АИ.

Напряженное состояние замковых поверхностей двигателей АИ также предпочтительное. Если совместную массу щита и половину станины обозначить через m , то в точках контакта стыка будет действовать нагрузка

$$R = 8,3 \cdot 10^{-4} \frac{q K_n \omega^2 m}{\pi a d} \text{ Н},$$

что приводит к напряжениям, действующим в поперечных сечениях замковых поверхностей станины и щита

$$\sigma_1 = 8,3 \cdot \frac{q K_n \omega^2 m}{\pi a^2 d h_{c1}} \text{ Па}; \quad \sigma_2 = 8,3 \cdot \frac{q K_n \omega^2 m}{\pi a^2 d h_{c2}} \text{ Па}. \quad (4)$$

Формулы (4) позволили на этапе проектирования двигателей АИ рассчитать ожидаемые напряжения в замковых соединениях с учетом новых сочетаний посадок замковых поверхностей и оценить их допустимость с точки зрения условий прочности и жесткости

$$\sigma_1 < \sigma_{-1}; \quad \sigma_2 < \sigma_{-1}; \quad \left(\frac{d\delta}{dt} \right)_{\max} < \frac{\sigma_y}{E},$$

где σ_{-1} и σ_y — соответственно пределы выносливости и упругости материала шита.

Улучшение показателей надежности двигателей АИ на стадии их проектирования было достигнуто также за счет применения новой конструкции вентиляционного узла — пятилопастных тарельчатых вентиляторов, взамен четырехлопастных. Эффективность такого конструктивного исполнения была подтверждена известной методикой вентиляционного расчета [4].

В табл. 3 приведены расчетные результаты сравнения ВБР двигателей 4А, 4ААМ и АИ при наработке 20000 ч.

Таблица 3

В. о. в. двигателей м.м	ВБР двигателей за 20000 ч		
	4А	4ААМ	АИ
45	—	—	0,91
50	0,35	0,4	0,901
56	0,50	0,58	0,913
63	0,44	0,47	0,906

Таким образом, основные конструктивные решения, реализованные в двигателях АИ с в.о.в. 45—63 м.м, гарантируют обеспечение комплекса требований по надежности, выдвинутого в качестве основного отличительного признака двигателей АИ по сравнению с двигателями 4А и 4ААМ.

НИИЭлектромаш

18. IV. 1984

Կ. Ա. ԱՐԿԱՆՅԱՆ

**ՓՈՔԸ ԶՁՈՐՈՒԹՅԱՆ ԱՍԻՆԵՐՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱՇԱՐԻԶՆԵՐԻ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ԱՅԲԱՆՁՆԱԶՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ
ՉՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՏՆՍԱԿՆՅՈՒՆՆԵՑ**

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. լ. մ.

Քննարկվում են ԱԻ սերիայի էլեկտրաշարժիչների հուսալիության ապահովման հարցերը նրանց նախազման էտապում: Բերվում են ԱԻ և 4ԱԱՄ սերիայի էլեկտրաշարժիչների հուսալիության ցուցանիշների համեմատական գնահատման արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1965. — 843 с.
2. Алаханян К. А. Определение резонансных частот АДММ с в.о.в. 50—63 мм на стадии их проектирования. — Изв. вузов Электротехника, 1984, № 7, с. 30—33.
3. Артемьян Г. Л. Прохождение вибрации ротора через подшипниковый узел электрической машины. — В кн.: Бразил I НТК ЕО ВНИИЭМ. — Ереван: 1974, ч. 1, с. 236—252.
4. Гурик Я. С. Кузнецов Б. И. Проектирование серий электрических машин. — М.: Энергия, 1978. — 440 с.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ս. Տ. ԱԳՅԱՆ, Ա. Կ. ՄԱՏԵՎՈՅԱՆ, Ա. Ա. ՄՐԱԴՅԱՆ

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ
 ПО СЕМЕЙСТВУ БАЗИСОВ ТИПА ХААРА

Классическая задача фильтрации заключается в восстановлении полезного сигнала $z(t)$ на фоне случайной помехи [1]. Последние годы в связи с достижениями в области цифровой техники большое внимание уделяется построению цифровых фильтров, что объясняется рядом их преимуществ по сравнению с аналоговыми [2]. При этом использовались различные ортогональные преобразования. Дискретные ортогональные преобразования делятся на два крупных класса, это ортогональные системы:

равномерно ограниченных функций (ВКФ) [3, 4];

неограниченных базисов, которые обладают быстрыми алгоритмами вычисления [5].

Для первого класса построены цифровые фильтры в различных упорядочениях: по Адамару, коду Грея и Пэли. Для второго класса вопрос построения цифрового фильтра остается открытым. Возникает также задача построения так называемых «гибридных» фильтров, обладающих положительными свойствами обоих классов.

В настоящей работе системы Хаара [4, 5] порядка $N = m_1 m_2 \dots m_n$ упорядочиваются адекватно внутренней структуре определяемых систем, на основании которых построен и реализован на ЭВМ цифровой фильтр по алгоритму быстрого преобразования обобщенных систем [4, 5] в упорядочениях по Адамару [7] и Пэли [4], проведен анализ структуры систем посредством z -преобразования их передаточных функций, приведены амплитудно-частотные характеристики систем Фурье, Уолша, классического и обобщенного Хаара.

Пусть $\{\Psi_{j_q}(j)\}_{j=1}^N$:

$$\Psi_{j_q}(j) = \sqrt{N_{k-1}} \prod_{z=1}^{k-1} \delta_{d_z j_z} \Psi_{d_z j_z}^{(z)}, \quad (1)$$

где

$$\Psi_{j_q}^{(z)}(j) = 1; \quad k = 1, 2, \dots, m_{k-1}; \quad d_z = 1, 2, \dots, m_{k-1};$$

$$j_q = 0, 1, 2, \dots, m_{k-1}; \quad D = \sum_{z=1}^k d_z N_{z-1}; \quad j = \sum_{z=1}^k j_z N_{z-1}$$

полная система дискретных ортогональных функций.

Построенные системы (1) в частных случаях при $m_1 = m_2 = \dots = m_n$ и $\varphi_j^{(1)}(j_j) = \exp(i2\pi d_j j_j / m_2)$ совпадают с системами [4, 5], а по структуре являются поэтажно-кронекееровскими [6]. В работе [3] было предложено такое понятие частоты, которое определяется как полное число оборотов, совершаемых вектором, изображающим функцию на плоскости. Непосредственное использование такого определения частоты для систем [4, 5] приводит к упорядочению, не согласующемуся с интуитивными представлениями частоты. Частоту функций [4, 5] определим как число оборотов вектор-функции на плоскости, приходящееся на единицу отсчета функции. Упорядоченные таким образом системы [4, 5] назовем системами Хаара—Пэли. Для иллюстрации приводятся системы [4, 5] в обычном упорядочении, по [2] и упорядоченные по [3] с соответствующими графиками изменения фаз (рис. 1 и 2). Системы построены на основе функций:

$$\begin{aligned} \varphi_1^{(1)} &= |1 \ 1|; & \varphi_2^{(1)} &= |1 \ -1|; & \varphi_1^{(2)} &= |1 \ 1 \ 1|; \\ \varphi_2^{(2)} &= |1 \ W \ W^2|; & \varphi_3^{(2)} &= |1 \ W^2 \ W^1|; & W &= \exp(-i2\pi/3); \end{aligned}$$

$$\Psi_{2,3} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & W & W^2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & W^2 & W^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & W & W^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & W^2 & W^1 \end{vmatrix}; \quad (2)$$

$$\bar{\Psi}_{2,3} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & W & W^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & W & W^2 \\ 1 & W^2 & W^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & W^2 & W^1 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

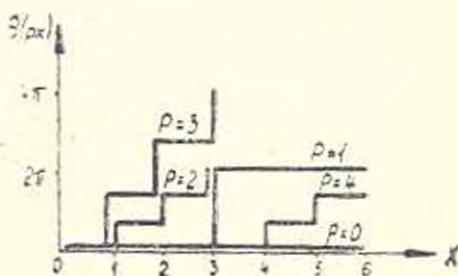


Рис. 1.

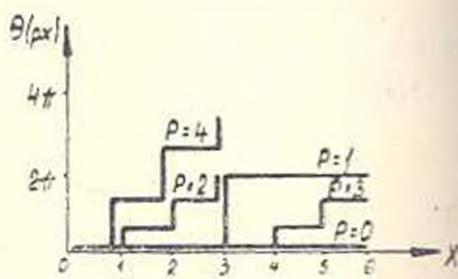


Рис. 2.

Отметим некоторые свойства построенной системы.

1. Система $\{\Psi_D(j)\}_{j=1}^n$ является ортогональной.
2. Система $\{\Psi_D(j)\}_{j=1}^n$ может быть упорядочена по [4], т. е. справедливо соотношение:

$$\Psi_{N_{k+1}} = \begin{pmatrix} \Psi_{N_k} \otimes e_{m_{k+1}} \\ \sqrt{N_k} I_{N_k} \otimes \varphi_2^{(k+1)} \\ \dots \\ \sqrt{N_k} I_{N_k} \otimes \varphi_{m_{k+1}}^{(k+1)} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $\varphi_i^{(k+1)}$, $i = 2, 3, \dots, m_{k+1}$ — функции исходной матрицы $\varphi^{(k+1)}$, упорядоченной по [4].

3. Предложенный метод построения систем функций (1) позволяет получать при различных исходных системах $\{\varphi^{(k)}\}$ гибридные ортогональные преобразования: Хаар—Уолш, Хаар—Фурье, Хаар—Фурье—Слент и т. д.

Необходимым этапом исследования систем преобразований является построение быстрых алгоритмов выполнения преобразований в различных упорядочениях. Ниже приводятся алгоритмы преобразования Хаара по системам (1) в упорядочениях по [7] и [4].

Утверждение 1. Система [4, 5] порядка $N = m_1 m_2 \dots m_n$ в упорядочениях по [7] и [4] допускает разложения:

$$\Psi_N = R_1 R_2 \dots R_n; \quad \bar{\Psi}_N = \bar{R}_1 \bar{R}_2 \dots \bar{R}_n, \quad (5)$$

где

$$R_n = \begin{pmatrix} I_{N_{n-1}} \otimes e_{m_n} \\ \sqrt{N_{n-1}} I_{N_{n-1}} \otimes \varphi_2^{(n)} \\ \dots \\ \sqrt{N_{n-1}} I_{N_{n-1}} \otimes \varphi_{m_n}^{(n)} \end{pmatrix}; \quad \bar{R}_n = \begin{pmatrix} I_{N_{n-1}} \otimes e_{m_n} \\ \sqrt{N_{n-1}} I_{N_{n-1}} \otimes \varphi_2^{(n)} \\ \dots \\ \sqrt{N_{n-1}} I_{N_{n-1}} \otimes \varphi_{m_n}^{(n)} \end{pmatrix};$$

$$R_i = \left| \begin{array}{c|c} I_{N_{i-1}} \otimes e_{m_i} & 0 \\ \hline \sqrt{N_{i-1}} I_{N_{i-1}} \otimes \varphi_2^{(i)} & 0 \\ \hline 0 & I_{N_n - N_i} \end{array} \right|;$$

$$\bar{R}_l = \left\| \begin{array}{c|c} I_{N_{l-1}} \otimes e_{m_l} & \\ \hline \sqrt{N_{l-1}} I_{N_{l-1}} \otimes \varphi_2^{(l)} & 0 \\ \dots & \\ \sqrt{N_{l-1}} I_{N_{l-1}} \otimes \varphi_{m_l}^{(l)} & \\ \hline 0 & I_{N_N - N_l} \end{array} \right\|;$$

$\varphi_2^{(l)}, \dots, \varphi_{m_l}^{(l)}$ — функция системы $\varphi^{(l)}$, $l = 1, 2, \dots, m$, упорядоченной по [4].

Доказательство проводится простым перемножением $R_1 \dots R_m$ с учетом того, что нижние части R_m и \bar{R}_m представляют собой последние подматрицы матриц в упорядоченных по [7] и [4]. Умножив $R_{m-1}R_m$ и $\bar{R}_{m-1}\bar{R}_m$, получим:

$$R_{m-1}R_m = \left\| \begin{array}{c} I_{N_{m-2}} \otimes e_{m_m} \otimes e_{m_{m-1}} \\ \sqrt{N_{m-2}} I_{N_{m-2}} \otimes \varphi_2^{(m)} \otimes e_{m_{m-1}} \\ \sqrt{N_{m-1}} I_{N_{m-1}} \otimes \varphi_2^{(m-1)} \end{array} \right\|;$$

$$\bar{R}_{m-1}\bar{R}_m = \left\| \begin{array}{c} I_{N_{m-2}} \otimes e_{m_m} \otimes e_{m_{m-1}} \\ \sqrt{N_{m-2}} I_{N_{m-2}} \otimes \varphi_2^{(m)} \otimes e_{m_{m-1}} \\ \dots \\ \sqrt{N_{m-2}} I_{N_{m-2}} \otimes \varphi_{m_m}^{(m)} \otimes e_{m_{m-1}} \\ \sqrt{N_{m-1}} I_{N_{m-1}} \otimes \varphi_2^{(m-1)} \\ \dots \\ \sqrt{N_{m-1}} I_{N_{m-1}} \otimes \varphi_{m_{m-1}}^{(m-1)} \end{array} \right\|.$$

т. е. предпоследние подматрицы восстановлены и т. д. Представление φ_N^* в произведение слабозаполненных матриц (5) задает быстрый алгоритм вычисления преобразования.

Утверждение 2. Для семейства ортогональных преобразований Хаара асимптотически быстрый алгоритм вычисления преобразования

$F = \varphi_N^* f$ формируется за $l = \sum_{k=1}^m m_{k+1} \dots N_{k+1}$ операций.

Перейдем к исследованию нерекурсивных цифровых фильтров, задаваемых строками матриц Хаара.

Определение 1. Нерекурсивные цифровые фильтры, определяемые по формуле

$$y_i(n) = \sum_{j=1}^n \psi_i(j) x(n-j), \quad (6)$$

где $\psi_i(j)$, $i = 0, 1, \dots, N-1$ — i -ая функция систем Хаара, называются цифровыми фильтрами Хаара.

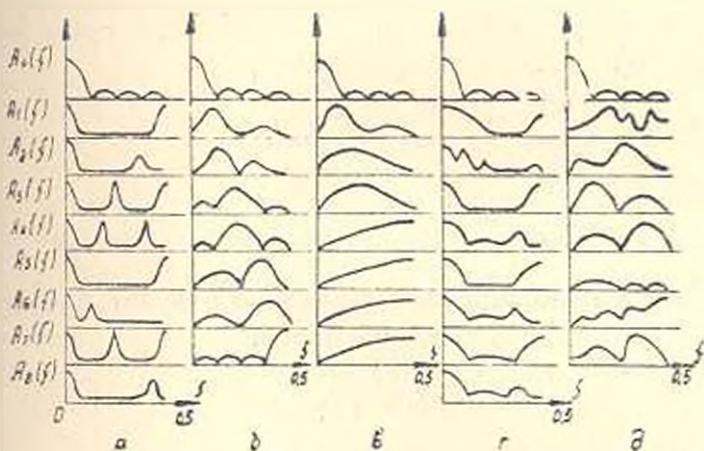


Рис. 3.

Передаточная характеристика такого фильтра:

$$H_m(z) = \sum_{k=0}^{m-1} \psi_m(k) z^{-k}.$$

Справедливо следующее:

а) если $A(z)$ есть z -преобразование дискретной функции $a(k, N)$ длины N , то z -преобразование функции $a(k, N) \otimes e_k = 0$ (l, N_m):

$$\frac{1-z^{-m}}{1-z} \sum_{l=0}^{N-1} a_l(z_m)^{-l} = (1-z)(1-z^{-m}) A(z^m);$$

б) если $A(z)$ есть z -преобразование функции $a(k, N)$, то z -преобразование функции $[0, \dots, 0, a(0, N), \dots, a(N-1, N)]$ есть $z^{-1} A(z)$.

Фильтры Хаара порядка $N = m_1 m_2 \dots m_n$ состоят из n групп, причем, каждая k -я группа ($k = 1, 2, \dots, n$) содержит $m_1 \dots m_{k-1} (m_k - 1) = N_k - N_{k-1}$ фильтров, укомплектованных в свою очередь в $(m_k - 1)$ подгруппы.

Утверждение 3. В j -ой подгруппе k -ой группы фильтры семейства Хаара имеют одинаковую амплитудную характеристику, равную

$$A_{j; m} = |\psi_j(k) (z^{N_{k-1}}; m_k)|.$$

и фазовые характеристики, равные

$$\varphi_{H_m} = |\varphi_j(k)| (z^{N_{c-1}}, m, z^{-V-Tm_k})|.$$

В качестве примера на рис. 3 приведены амплитудные характеристики фильтров Фурье (а.— $N=9$), Уолша (б.— $N=8$) и три системы семейства Хаара: Хаар (в.— $N=8$), Хаар—Фурье (г.— $N=9$), Хаар—Слент (д.— $N=8$). Все расчеты по определению амплитудных характеристик произведены по программам, написанным на языке ПЛ/1, реализованном на ЕС ЭВМ.

ВЦ АН АрмССР,
ЕрГУ

11 VII 1983

Ս. Ս. ԱՂԱՅԱՆ, Ա. Կ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ, Ա. Ա. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ

ՀԱՌԱՐԻ ՏԻՊԻ ԲԱԶԻՍՆԵՐԻ ԸՆՏԱԿՆԻՔՈՎ ԳԵՏՆԵՐՄԵԿԱՆՑՎԱԾ ԹՎԱՅԻՆ ՁԻՎՏԵՐ

Ա մ փ ո փ ո ռ ը

Բերված է $N = m_1 - m_2 - \dots - m_n$ կարգի Հաարի համակարգի ընտանիքը, որի համար կառուցված է արագ ձևափոխման ալգորիթմը՝ համարակալված ըստ Հադամարի և Պլլիիի Հաարի ընտանիքի համակարգերի ձևափոխման հիման վրա կառուցված են նաև նոր թվային ֆիլտրեր, շ-ձևափոխման միջոցով կառուցված է համակարգի կառուցվածքի վերլուծությունը, բերված են Ֆուրյեի, Սուրյեի, Հաարի դասական և ընդհանրացված համակարգերի ամպլիտուդա-հաճախականային բնութագրերը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хемлин, Р. Цифровые фильтры.— М.: Сов. радио, 1980.— 221 с.
2. Хармут Х. Теория секвентного анализа.— М.: Мир, 1980.— 574 с.
3. Трахтман А. М., Трахтман В. А. Основные теории дискретных сигналов на конечных интервалах.— М.: Сов. радио, 1975.— 208 с.
4. Большаков Н. А., Ракошиц В. С. Приложение ортогональных систем дискретных функций к микропроцессорной обработке сигналов.— Изв. АН СССР. Тех. кибернетика, 1977, № 5, с. 143—157.
5. Agaian S. S., Mutevosian A. K. Haar transforms and automatic quality test of printed circuit boards.— Acta Cybernetica, 1981, Szeged, Tom 5, fasc 3 p. 315—362.
6. Ярославский Я. П. Введение в цифровую обработку изображений.— М.: Сов. радио, 1979.— 312 с.
7. Агаян С. С., Матевосян А. К. Быстрое преобразование Адамара.— В сб.: Труды ВЦ АН АрмССР, 1982, т. XII, с. 73—90.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. В. АЛЕКСЕЕВСКИЙ, С. Н. ГРИГОРЯН, Д. Я. СВЕТ, Р. Е. АКОНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РОТОРОВ КРУПНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Одной из важных задач при диагностике роторов крупных электрических машин является передача без искажений данных измерения его контрольных параметров. До последнего времени вывод информации с вращающегося ротора осуществлялся через контактные кольца, которые недолговечны в эксплуатации и создают высокий уровень помех в каналах передачи сигналов, вызванный искрением щеток. Указанные недостатки привели к появлению радиотелеметрических систем (РТС), широкое использование которых, в свою очередь, сдерживается относительно большими габаритами антенно-фидерного устройства, появлением сдвигов несущей частоты, наличием интерференционных помех, а также чувствительностью радиоканала к радиопомехам от самой электрической машины. В некоторых РТС, благодаря специальным схемным и конструктивным решениям [1], удается устранить большинство отмеченных недостатков, но реализация этих решений приводит к усложнению РТС в целом, что отрицательно сказывается на ее надежности и ремонтпригодности.

Недостатки и ограничения, свойственные передаче информации по РТС, могут быть принципиально исключены, если для этой цели использовать оптический канал, который не является источником помех и, в свою очередь, не воспринимает радиопомехи. В качестве преобразователя передаваемого с ротора электрического сигнала в световые импульсы целесообразно использовать светозлучающие диоды (СД) инфракрасного диапазона [2], а в качестве приемников излучения — р-і-п фотодиоды [3].

Классическая схема оптического канала с расположением источника света на торце вала ротора, а фотоприемника — по линии оси вращения ротора, наиболее простая, однако область ее применения в реальных машинах ограничена возможностью прохождения монтажных проводов к СД вдоль вала, через контактные кольца или подшипниковый узел. Поэтому был предложен ряд способов для выполнения этого канала с проходной части вала при помощи нескольких светодиодов, устанавливаемых по окружности вала [4].

При малых радиусах вала ротора светонзлучающие диоды располагаются по окружности таким образом, чтобы ось диаграммы направленности (ДН) излучения СД совпала с продолжением радиуса, а фотоприемник был бы перпендикулярен к продолжению этого радиуса

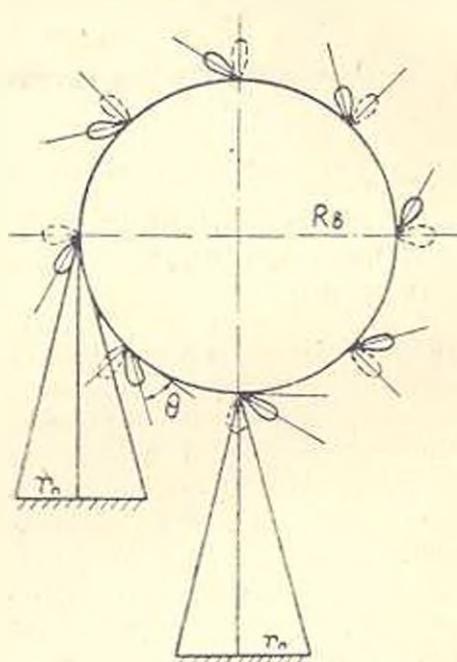


Рис. 1. Варианты расположения светодиодов и фотоприемника на проходной части вала ротора: а — — — — $\theta = \pi/2$; б — — — — $0 < \theta < \pi/2$

(рис. 1). При этом ось ДН перпендикулярна касательной окружности вала ($\theta = \pi/2$), а количество СД или фотоприемников, необходимых для обеспечения непрерывного действия канала передачи, невелико. В крупных электрических машинах, когда радиус вала достигает значения 0,3—0,6 м, необходимое количество СД резко возрастает. Поэтому для них предлагается новое расположение СД и приемной оптической антенны (ОА) (рис. 1б). В этом варианте ОА располагается перпендикулярно касательной к валу ротора, а СД размещены по окружности вала, наклонно к касательной так, что ось ДН образует с ней некоторый угол ($0 < \theta < \pi/2$). Такое расположение позволяет при повороте вала машины на угол α получить меньшее изменение угла между осью ДН и

осью ОА, благодаря чему расширяется зона действия отдельного СД.

Для обеспечения высокой чувствительности и непрерывности действия нового оптического канала необходимо рассчитать падающую на ОА мощность P от отдельного СД в зависимости от угла поворота вала α . Зная зависимость $P(\alpha)$, можно оптимально «состыковать» СД и обосновать выбор оптических детекторов, которые чувствительны к мощности (интенсивности) принимаемого излучения.

Чаще всего при аналитических расчетах ДН излучения СД приближенно аппроксимируют по косинусидальному закону [2]. Для СД инфракрасного диапазона такое допущение приводит к большим расхождениям с реальной ДН. В данном случае наиболее целесообразной является аппроксимация по формуле вида:

$$P = e^{-k(\beta + \gamma)^2} \quad (1)$$

где β и γ — численные значения угловых координат на ДН СД; k — коэффициент, влияющий на ширину лепестка ДН СД.

Графически расчетная модель предложенного оптического канала представлена в виде проекции на плоскость перпендикулярно валу ро-

тора (рис. 2а) и для пространственного положения оптической приемной антенны (рис. 2б), где R_0 , α — радиус и угол поворота вала ротора; L — расстояние между ОА и СД при $\alpha = 0$; r_0 — радиус ОА. Из геометрических построений на рис. 2 можно определить горизонтальный угол охвата $2\beta_0$, вертикальный угол полуохвата γ_0 и угол χ смещения оси ДН относительно ОА при повороте вала на α . Углы β_0 и γ_0 , определяющие телесный угол (область S в развернутом виде на рис. 3), который вклинивается в ДН СД.

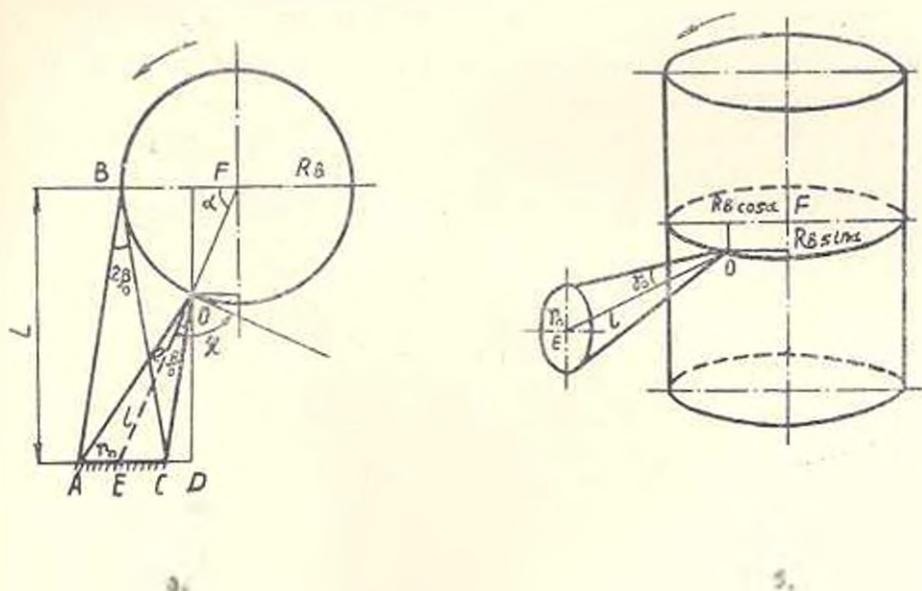


Рис. 2. Расчетная модель оптического канала.

Суммарная мощность, падающая на приемную площадь ОА в полярных координатах, где полюс O совпадает с точкой нахождения СД, а полярная ось OX направлена по радиусу вала, определяется как

$$P = A \iint_S r e^{-r^2/k^2} d\varphi dr, \quad (2)$$

где $r^2 = \beta^2 + \gamma^2$; A — коэффициент пропорциональности.

Для нахождения коэффициента A рассчитаем всю излучаемую СД мощность P_0 и приравняем ее к единичной мощности

Тогда

$$P_0 = A \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} r \cdot e^{-r^2/k^2} d\gamma \cdot dr = A \cdot k^2 \cdot \pi = 1, \quad (3)$$

откуда

$$A = 1/k^2 \cdot \pi \quad (4)$$

С учетом (4) формула (2) для любой приемной области принимает вид:

$$P = \frac{1}{k^2 \cdot \pi} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{r_1}^{r_2} r \cdot e^{-r^2/k^2} d\varphi \cdot dr = -\frac{1}{2\pi} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left(e^{-r^2/k^2} \Big|_{r_1(\varphi)}^{r_2(\varphi)} \right) d\varphi. \quad (5)$$

Найдем радиус-векторы $r_2(\varphi)$, $r_1(\varphi)$, определяющие область S (эллипс), по которой ведется интегрирование:

$$(r \cdot \cos \varphi - x)/\beta_0^2 - r \cdot \sin \varphi/\gamma_0^2 = 1.$$

Заметим, что β_0 , γ_0 , x представляют собой численные значения соответствующих углов.

Из уравнения эллипса находим, что

$$r_{1,2} = \frac{\cos \varphi \cdot \gamma_0^2 \cdot x \pm \sqrt{\cos^2 \varphi \cdot \gamma_0^4 \cdot x^2 + (\cos^2 \varphi \cdot \gamma_0^2 + \sin^2 \varphi \cdot \beta_0^2) (\beta_0^2 \cdot \gamma_0^2 - x^2 \cdot \gamma_0^2)}}{\cos^2 \varphi \cdot \gamma_0^2 + \sin^2 \varphi \cdot \beta_0^2}. \quad (6)$$

Так как область S симметрична, то формулу (5) для данного случая можно записать в виде

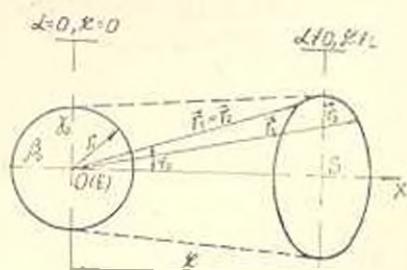


Рис. 3. Интегрируемая область и развернутом виде.

$$P = \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi_0} e^{-r_1^2(\varphi)/k^2} d\varphi - \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi_0} e^{-r_2^2(\varphi)/k^2} d\varphi. \quad (7)$$

Предел интегрирования φ_0 может иметь два значения (рис. 3):

- а) $x < \beta_0$ — угол φ_0 , определяющий границу интегрируемой области, лежит в пределах $0 - \pi$;
- б) $x > \beta_0$ — угол φ_0 определяется условием равенства радиус-векторов r_1 и r_2 , которое справедливо при равенстве дискриминанта в выражении (6) нулю, откуда

$$\varphi_0 = \arccos \sqrt{\frac{x^2 - \beta_0^2 \cdot \gamma_0^2 - \beta_0^4 \cdot \gamma_0^2}{\gamma_0^4 \cdot x^2 + (\gamma_0^2 - \beta_0^2) (\beta_0^2 \cdot \gamma_0^2 - x^2 \cdot \gamma_0^2)}}.$$

Для рассмотренных случаев окончательно получим:

$$P = 1 - \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi_0} e^{-r_1^2(\varphi)/k^2} d\varphi \quad (8)$$

и

$$P = \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi_0} e^{-r_2^2(\varphi)/k^2} d\varphi - \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi_0} e^{-r_1^2(\varphi)/k^2} d\varphi. \quad (9)$$

Значения интегралов в выражениях (8) и (9) находятся численными методами.

Расчет проведен для случая, когда сдвиг оси ДН равен нулю ($\theta = 0$). Если $\theta \neq 0$, этот сдвиг легко учитывается заменой x на модуль выражения ($x - 0$). По разработанной методике на ЭВМ ЕС-1022 был выполнен расчет оптического канала со световызлучающими диодами НК диапазона АЛ-107, для которых коэффициент $k = (0,35-0,43)$ был принят равным 0,4.

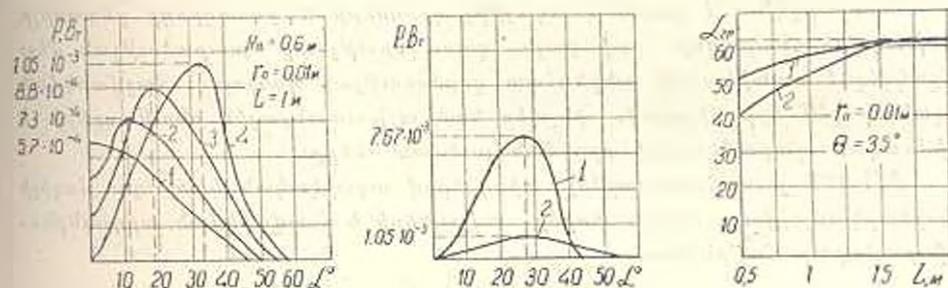


Рис. 4. Расчетные значения: а — нормированной мощности, падающей на оптическую антенну от угла поворота вала при 1 — $\theta = 0$, 2 — $\theta = 10^\circ$, 3 — $\theta = 20^\circ$, 4 — $\theta = 35^\circ$; б — нормированной мощности от расстояния 1 — $L = 0,5$ м, 2 — $L = 1$ м, в — зоны действия светодиода от расстояния 1 — $R_0 = 0,4$ м, 2 — $R_0 = 0,6$ м.

Из графиков рис. 4а следует, что оптимальный угол θ для стыковки светодиодов АЛ 107 составляет $30^\circ-35^\circ$. На рис. 4б показаны зависимости $P(\alpha)$ при $\theta = 35^\circ$, $r_0 = 0,01$ м и $R_0 = 0,6$ м (радиус вала Красноярской ГЭС) для $L = 0,5$ м и $L = 1$ м. Как видно, с увеличением расстояния L зона действия светодиода несколько увеличивается, но одновременно падает принимаемая мощность.

Зависимость граничного угла α_{gr} , определяющего зону действия СД от расстояния L , показана на рис. 4в. Из него следует, что зона действия СД существенно зависит от L только при малых расстояниях и с увеличением L зона действия практически не изменяется. Полученная зависимость позволяет определить минимальное количество СД, обеспечивающее непрерывное действие оптического канала при различных L . Например: для $L = 0,5$ м, $N_{min} = 4\pi/\alpha_{gr} = 18$ шт., а для $L = 1,5$ м, $N_{min} = 12$ шт.

Суммарная мощность, падающая на ОА при вращении вала, имеет незначительную амплитудную модуляцию, вызванную некоторой асимметрией зависимости $P(\alpha)$ при подъеме и спаде кривой, которая тем больше, чем меньше расстояние L . Однако при цифровой или частотной модуляциях передаваемых сигналов эта модуляция легко устранима посредством ограничителя амплитуды. Полученные опытным путем значения параметров и характеристик реальной модели оптического канала достаточно хорошо согласуются с расчетными данными.

ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԿԱՊՈՒՂՈՒ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԽՈՇՈՐ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՌՈՏՈՐՆԵՐԻ ԿԱՆԵՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հիմնավորված է նոր օպտիկական կապուղու նպատակահարմարությունը խոշոր էլեկտրական մեքենաների ստորներից կանխորոշիչ տեղեկությունների անկոնտակտ եղանակով հաղորդման համար:

Առաջարկվում է լուսաճառագայթիչ դիոդների և ֆոտոդիոդի ընդունիչի փոխադարձ ճնարավոր լավագույն դասավորությունը տարածության մեջ: Մշակվել է օպտիկական անընդճատ գործողության կապուղու հաշվարկման եղանակ էՀՄ-երի միջոցով, ինչպես նաև աշխատանքային բնութագրերի և հիմնական պարամետրերի որոշման լուծման ձևերը:

ԱՂ-107 լուսաճառագայթիչ դիոդներով օպտիկական կապուղու մոդելի փորձարկումը ցույց տվեց փորձի տվյալների և հաշվարկման արդյունքների բավարար համընկնում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Берберян Г. В., Акопян Р. Е., Григорян С. Н., Арамян А. Л., Акипян Г. Р. Система радиотелеметрии для диагностики гидрогенераторов. — Промышленность Армении, 1981, № 6, с. 27—29.
2. Косин Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. — М.: Энергоатомиздат, 1983 — 208 с.
3. Уингер Г. Г. Оптическая связь /Под ред. Н. А. Семенова. — М.: Связь 1979. — 264 с.
4. Самбурский А. И., Попик В. К. Бесконтактные измерения параметров вращающихся объектов. — М.: Машиностроение, 1976. — 114 с.

ГИДРОТЕХНИКА

Р. М. РАФАЭЛЯН, А. А. КАРАНФЛЯՆ, Э. П. АՐՇԱԿՅԱՆ, Օ. Ր. ՇԱՏՎՈՐՅԱՆ,
 А. С. МЕЛКՈՆՅԱՆ, В. Г. ПЕТРОСՅԱՆ, Г. Г. НЕРՍԻՍՅԱՆ

РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ
 ДЛЯ ПАНОРНОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Элементом автоматизированной оросительной сети, поддерживающим требуемое давление в трубопроводе, является регулятор давления. В настоящее время разработаны различные типы регуляторов давления [1]. Наряду с определенными преимуществами, некоторые из них имеют значительную металлоемкость и сложную конструкцию.

Регулятор давления вентиляльного типа [2] с достаточной точностью осуществляет стабилизацию давления «после себя», однако, при этом мембрана из прорезиненой ткани регулирующего органа подвержена нежелательному воздействию пульсации потока. В АрмНИИВПаГ разработан регулятор давления непрямого действия, отличающийся простотой конструкции. На рис. 1 приведена схема регулятора, состоящего из установленной на трубопроводе 1 задвижки с гидроприводом 2, чувствительного элемента 3, выполненного в виде мембранного движителя, кранового пробкового распределителя 4, соединительных трубок 5—9.

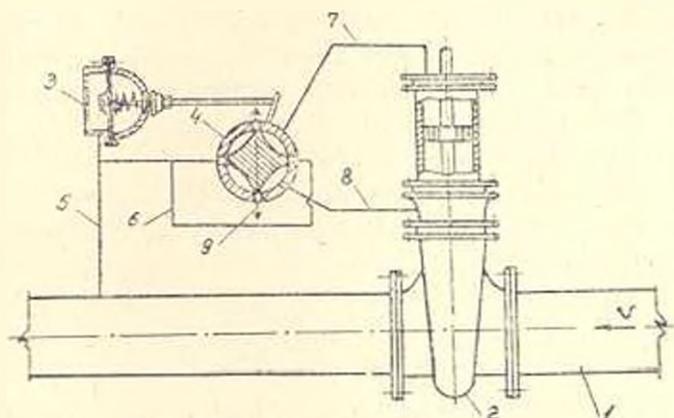


Рис. 1. Схема регулятора давления.

На установившемся режиме пробка кранового распределителя находится в нейтральном положении и ее рабочие кромки перекрывают поток из трубопровода, а также из верхней и нижней полостей гидроцилиндра. В случае повышения давления в трубопроводе до регулятора,

оно передается после регулятора и по трубке 5 воздействует на мембрану чувствительного элемента, вызывая перемещение вправо штока, связанного с мембраной и пробкой кранового распределителя.

При повороте пробки вправо, вода из трубопровода поступает в верхнюю полость гидроцилиндра, а нижняя его полость соединяется со сливом. В результате этого поршень гидрозадвижки перемещается вниз, производя дополнительное дросселирование потока, чем поддерживается требуемое давление в трубопроводе за регулятором. При уменьшении давления за регулятором вода под давлением через крановый распределитель поступает в нижнюю полость гидроцилиндра, поднимая поршень и восстанавливая первоначальное давление после регулятора. Перемещение поршня регулирующего органа как вниз, так и вверх осуществляется под действием максимально возможного перепада давления, что повышает надежность работы регулятора.

Работа регулятора при переходном процессе описывается следующими уравнениями:

а) движения чувствительного элемента —

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = p_{12} w_1 - C(x_0 + x_1) - F_{ст}, \quad (1)$$

б) движения регулирующего органа —

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = p_{11} w_2 - p_{11} w_0 + m_2 g - P_{с2}. \quad (2)$$

Начальными условиями являются:

$$t = 0; \quad \frac{dx_1}{dt} = 0; \quad \frac{dx_2}{dt} = 0; \quad x_1 = x_1^0; \quad x_2 = x_2^0. \quad (3)$$

В качестве граничных условий приняты функции, соответствующие случаям повышения и понижения давления в трубопроводе до регулятора, а также уменьшения расхода в трубопроводе после регулятора, вызванного закрытием дождевального аппарата.

В уравнениях (1) и (2) приняты следующие обозначения: x_1 — перемещение штока чувствительного элемента; m_1 — масса подвижных частей чувствительного элемента; p_{12} — давление в трубопроводе после регулятора, равное

$$p_{12} = p_0 - \zeta(x_2) \frac{\rho Q_{тр}^2}{2w_{тр}^5}; \quad (4)$$

p_0 — давление до регулятора; $\zeta(x_2)$ — коэффициент гидравлических сопротивлений гидрозадвижки [3], аппроксимированный в виде функции

$$\zeta(x_2) = a + \frac{b}{(D - x_2)^2}; \quad (5)$$

D — диаметр трубопровода; ρ — плотность воды; $Q_{тр}$ — расход воды в трубопроводе; $w_{тр}$ — площадь поперечного сечения трубопровода;

ω_1 — эффективная площадь мембраны чувствительного элемента; C — жесткость пружины; x_0 — величина предварительного натяга пружины; F_{c1} — приведенная к штоку чувствительного элемента сила трения; m_2 — масса подвижных частей гидрозадвижки; p_v, p_{II} — давления, соответственно в верхней и нижней полостях гидроцилиндра, равные

$$p_v = p_{1p} - \zeta(x_1) \frac{\rho Q^2}{2\omega_1^2}, \quad p_{II} = p_{2T} + \zeta(x_1) \frac{\rho Q^2}{2\omega_2^2}; \quad (6)$$

$\omega_v, \omega_{II}, \omega_T$ — эффективные площади поршня в верхней и нижней полостях гидроцилиндра и площадь поперечного сечения соединительных трубок; F_{c2} — сила трения, возникающая при движении поршня гидрозадвижки, определяемая по зависимостям, приведенным в [4] или экспериментальным путем; $\zeta(x_1)$ — коэффициент гидравлических сопротивлений кранового распределителя.

Экспериментальным путем определена величина $\zeta(x_1)$, которая представляется в виде функции

$$\zeta(x_1) = a_1 + \frac{b_1}{x_1} + \frac{c_1}{x_1^2}, \quad (7)$$

где a, b, a_1, b_1, c_1 — постоянные коэффициенты; Q — расход воды, поступающий в полости гидроцилиндра

$$Q = \omega_2 \frac{dx_2}{dt}. \quad (8)$$

Первоначальные вычисления по нелинейным уравнениям (1) и (2) с начальными условиями (3), выполненные на ЭВМ ЕС 10-22, показали, что задача является неустойчивой. Это объясняется необходимостью задания точных начальных условий. Ввиду трудности получения таких данных из эксперимента, были приняты допущения

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = 0, \quad m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = 0,$$

что позволило сузить класс задания начальных условий. Такое допущение достаточно правомерно, исходя из малости сил инерции подвижных частей чувствительного элемента и регулирующего органа.

При указанном допущении и $\omega_v = \omega_{II} = \omega_n$ уравнения (1) и (2) преобразуются к виду

$$x_1 = \frac{p_{1p}(x_2) \omega_n - c x_0 - F_{c1}}{c}, \quad (9)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \pm \sqrt{\frac{p_{2T}(x_2) - p_{c1} + \frac{m_2 g - F_{c2}}{\omega_n}}{\zeta(x_1) \frac{\omega_n^2}{m_2^2}}} \quad (10)$$

с начальным условием

$$t = 0, \quad x_1 = x_1^0. \quad (11)$$

Расчеты по определению изменения давления после регулятора по уравнениям (9), (10) с начальным условием (11) выполнены на ЭВМ для случаев повышения и понижения давления до регулятора, а также уменьшения расхода после регулятора при закрытии дождевального аппарата. Результаты некоторых из этих расчетов приведены на рис. 2, 3.

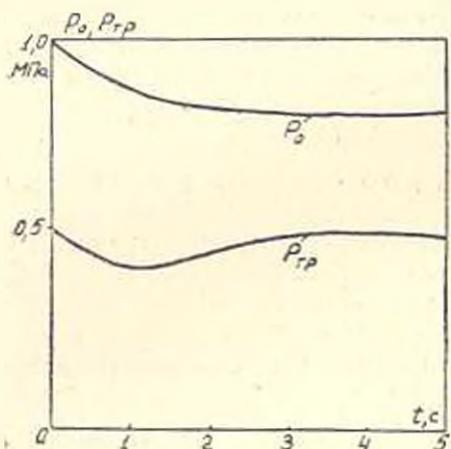


Рис. 2 Расчет изменения давления после регулятора.

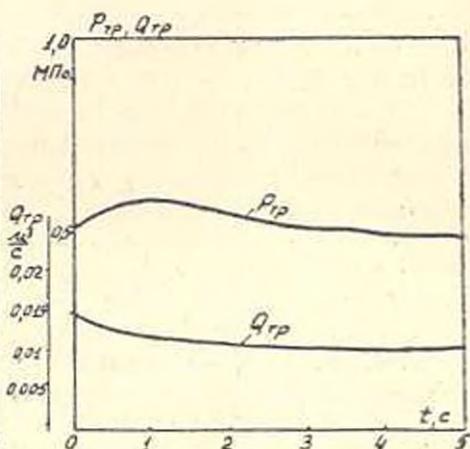


Рис. 3 Расчетная зависимость давления после регулятора при уменьшении расхода.

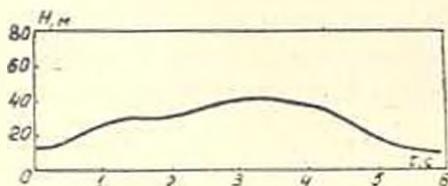


Рис. 4 Осциллограмма изменения напора после регулировки.

Испытания регулятора давления проводились в лабораторных и полевых условиях при давлениях (0,3—1,2) МПа. На рис. 4 приведена осциллограмма изменения напора после регулятора при повышении давления до него. Как видно, после завершения переходного процесса регулятора обеспечивает требуемый напор в трубопроводе.

Точность регулирования давления составляет $\pm 10\%$.

ԱՆՈՒՂՎԱԿԻ ԳՈՐԾՈՂՈՒԹՅԱՆ ԱՆՇՈՒԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՂ ՈՌՈԳՄԱՆ
ԱՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՀԱՄԱՐ

Ա մ փ ս փ ս լ մ

Տրված է մշակված հեղման կարգավորիչի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը: Ստացվել են դիֆերենցիալ հավասարումներ, որոնց միջոցով էԸՄ-ի վրա կատարվել են կարգավորիչի հաշվարկներ, երբ ճնշումը նրա մուտքում մեծանում է, կամ փոքրանում է ջրի ծախսը որոգման խողովակաշարում: Անշման կարգավորիչի փորձարկումները ցույց են տվել, որ նա աշխատունակ է և իրենից հետո ապահովում է պահանջվող ճնշումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Производилка трубопроводная арматуры /Каталог.— М.: ЦИТИХИМНЕФТЕ-МАШ, ч. 3. 1978.— 136 с.
2. Ностенко Н. Н., Гарник В. К. Методика расчета и экспериментальные исследования регулятора давления для дождевальной машины «Фрегат».— В сб.: Мелиорация и водное хозяйство.— Киев: Урожай, 1973, вып. 25, с. 122—129.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.— М.: Машиностроение, 1975.— 558 с.
4. Справочник машиностроителя.— М.: Машиностроение, 1960, т. 1— 592 с.

Լ. Գ. Ալեկյան: Լիեկտորական համակարգի զինամիջկ կայունությունը բարելավումը հաստատուն հասանքի Լիեկտորաւագորգման զծի ումեղացման միջոցով	2— 8
Մ. Ա. Բաղբերկյան, Շ. Ս. Ստեղծարյան: Մեծ Լիեկտորալներգծիկական համակարգերի հասաստված սեծիմեների որոշումը՝ սակայժ լրացված հակերյան մատրիցայի որցազորմամբ	6— 7
Յու. Ա. Գալյուստիկան, Լ. Ա. Տիրարյիկան: Գագարդյանհաննի շրջանի օպտիմիզացումը զարչացման զինամիջկական ու հագմանական պայմանների հաշվատամբ	1—19
Ս. Շ. Հակոբյան: Պիակոպտիկայի մեթոդի կիրառումը կազատրանսպորտային մեծ համակարգերի սորարաշխման հաշվարկումը	5—41

Է Լ Ի Կ Տ Բ Ա Տ Ն Ի Կ Ա

Կ. Ա. Ալիխանյան: Փոքր հզորության սախներուն Լիեկտորաշարծիչների կառուցվածքային առանձնահատկությունների ուսումնասիրումը հուսուլիության տեսանկյունից	6—20
Պ. Յու. Կապիկ, Գ. Կ. Սախարյան, Ա. Յու. Մելիկիով: Երկարուղային համասեղված սախներուն-ինդուկտորային շարծիչների բնութագրերը	2—17
Ս. Ա. Կաբապեկյան, Ա. Գ. Շանյան: Գլանական կոնդենսատորի զաշում գտնվող զի-Լիեկտորիկական զծի պտաննցիայի հաշվարկի վերաբերյալ	2—12
Վ. Բ. Կեռիսյան: Մաշված պարամետրերով շղթաների տեսության վրա հիմնված տրանսֆորմատորի տիպի մրկահաստատրային փոխակերպիչի հաշվարկը	1—30
Ն. Կ. Կրկյան, Մ. Ե. Յոնգև, Գ. Ս. Հակոբյան: Փոքր հզորության սախներուն շարծիչների ուսորի ադակենտրոնության մեծության որոշումը	1—25

Հ Ի Բ Ա Լ Լ Ի Կ Ա, Հ Ի Գ Ո Տ Ն Ի Կ Ա

Ջ. Ս. Քուրսյան: Մաշտարային զործուր նուրը շերտային պատման մողեյացման զեղբում	5—36
Ս. Մ. Կապուրյան: Բազմաշերտ մեկնցող միջավայրի լիզրոնկրուրանական պարամետրերի որոշումը զրատար որիզոններից տարբեր սեծիմենրով զրահանման զեղբում	4—39
Ս. Մ. Մախանյան, Ա. Շ. Կատենիկյան, Է. Պ. Աշխիանց, Ս. Ռ. Հատուրյան, Ս. Ս. Մելիկյան, Վ. Գ. Պետրոսյան, Գ. Գ. Կեռիսյան: Անուղղակի զործողության մեշման կարգավորիչ որոցման մեշումային ցանցի համու	6—37

Տ Ի Կ Լ Կ Ա Կ Ա, Կ Ի Բ Ե Ն Ե Տ Ի Կ Ա

Գ. Լ. Աբելյան, Ս. Ռ. Մելիումյան: Կայունացված լուծումների կառուցման եղանակը բազմաշաբ ոշ պային ԱՎՀ-ի թույլ կապերի զեղբում	3—15
Ռ. Ն. Կաստարյան: Ոշ զծային բաղմակայ կարգավորմուն համակարգերի հարկողական սատանումների և որակի համախականային ցուցանիշները	5—29
Գ. Մ. Մելիոնյան, Տ. Ի. Արեշյան, Տվյալներ ավելցուկության կրծատման՝ աղավաղումների նկատմամբ կայուն րեզրեխոն մեթոդ	5—23
Գ. Վ. Կալոյան: Օրյնկոն որակի զնահատման մի պարամետրական մեթոդի մասին	3—11

Չ Ա Փ Ո Ղ Ա Կ Ա, Տ Ե Ն Ե Մ Ա

Վ. Վ. Ալեխանյան, Ս. Ն. Գրիգորյան, Գ. Յու. Ալեխ. Ռ. Ս. Հակոբյան: Ոպտիկական կապուր հետազոտումը խոշոր Լիեկտրական միքենաների ուստրների կանխորոշման համար	6—31
Ս. Կ. Կյուրեղյան, Ռ. Շ. Հակոբյան: Կատավարման համակարգերում անզգայության տիրուլթներով կայունացված սխալների վերլուծումը	2—32
Ս. Խ. Հովհաննիսյան: Համասեղ կանոնավոր կառուցվածքների աշխատունակության ստուգման որոշ մեթոդորդիական ստանձնահատկությունները	3—31

Վ. Թ. Մարտիրոսյան: Պատկերների հասակության ղեկավարումը Վիննիպիայի գտման ղեկավարում	3—35
Ա. Ս. Նաղդումյան: Կիսահաղորդչային շերտադիմադրությունների օգտագործումը գերմաստիճանի ճիշտ շախմատի համար	3—27

ՀԱՆՎՈՂԱԿԱՆ ՏՆԵՆԿԱԿ

Յ. Ի. Աղայան, Ա. Կ. Մարտիրոսյան, Ա. Ա. Մուրադյան: Հասարի տիպի բազիսների բնտանիքով պետերմիտոզոված թվային Գիլտերեր	6—25
Բ. Կ. Բրուսյան: Ամոտմաս համակարգի օլտիմալ կառավարումը ղեկավարող պարամետրերի կառուցվածքային սահմանափակումների առկայությամբ	3—20
Վ. Կ. Բրուսյան: Անընդհատ Մարիոլյան համակարգերի հետազոտման մի մեթոդի մասին	2—23
Ս. Հ. Կամոյան, Թ. Ն. Պետրոսյան, Հ. Ն. Ապրիլյան: Ենտրի-2-ի փոխակերպման օբյեկտում օգտագործվող Ենտրի-4-ը էՀՄ-ի Ֆունկցիոնալ ներառվածությունների բնղայնման մի մոտեցման մասին	1—37
Ս. Ա. Կոստյանցով, Ս. Հ. Կոչկոյան: Տվյալների մշակման օպտիմալ մոդուլային նամակարգերի սինթեզը բաղադրողներային հաշվողական համակարգերում	4—35

Գ Ի Տ Ա Կ Ա Ն Ե Ո Ս Ե Ի

Ա. Ս. Ավետիսյան: Տանտալայումիտիում օքսիդով համաձուլվածքի որոշ հատկությունների հետազոտումը	2—33
Ի. Յ. Կանիկ, Գ. Թ. Ավետիսյան: Հիդրադիտիկական հատվածի հետազոտումը ընչման տասնամյակների դարը հասարակականության կայունացուցիչ պարունակող խողովակային համակարգերում	4—46
Ե. Ս. Կարապետյան: Արդյունաբերական ստրոտի բոնիշի շարժման հետազոծի կառուցումը	2—47
Բ. Վ. Կասյան, Մ. Մ. Ալմուսյան, Մ. Տ. Լազարյան: Իմպուլսային ուժի մասնատողական մոդելի գնահատումը բնղնատ կտրման ժամանակ	1—42
Գ. Գ. Հավանիսյան, Կոչկոյանի օլտիմալ շարժման նախնական կենտրոնների տեղաբաշխման վայրերի որոշումը՝ օբյեկտում գործող հաշվողական կենտրոնների առկայությամբ	2—43
Է. Վ. Կուրապետյան, Ա. Մ. Ալմուսյան: Բազմակուսայ օլ գծային ալտոմոտ կարգավորման համակարգերում սահմանային ցիկլերի մասին	2—46
Վ. Գ. Կասյան: Չբաղանկանային գործունի և ներդրավոված օլի բանակի ազդեցությունը սվաղ շարունակող կերամիկային փոխարեռանի որոշ հատկությունների վրա	3—45
Ա. Գ. Կարապետյան, Թ. Ս. Հակոբյան: Պոլիդիտրեն նյութերի հիդրադիտիկական բաժանման պրոցեսի մասնատողական մոդուլայինումը	5—43
Ա. Ա. Կուրապետյան, Կ. Վ. Վարդանյան, Ի. Ա. Կոչկոյան: Մաղանոթային սնղիկալեկտրոլիտի տարրերի որակի նախագուշակումը	3—43
Ս. Հ. Կարոյան: Կիսահաղորդչային պաշտպանական համասարք ռոտոկետր	1—47
Հ. Թ. Կարապետյան, Ա. Ա. Մամարիկ: էՀՄ հիդրոլային մագնիսական սխեմատիկայների էրեկտիվումը կոկեյտ կրկնմատիկական գործունիների օպտիմիզացումը	1—42
Բ. Տ. Կոչկոյան, Ա. Ա. Կուրապետյան: Հարթաթյան վրա հանված յուղման կարգավորված աղաների հենման մակրոնյութների որոշումը	3—39

Գ Ի Տ Ա Կ Ա Ն Ե Ո Ս Ե Ի

Հայկ. ՍՍՀ ԿԱ ակադեմիկոս Մ. Վ. Կասյանի ծննդյան 80-ամյակի առթիվ	5—3
---	-----

СО Д Е Р Ж А Н И Е

XXXVIII тома журнала «Известия АН Арм. ССР
(серия технических наук)»

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- В. А. Вагаршакян, Л. Н. Густин, В. С. Миртчан.* Возможности диагностирования состояния ступиц по шероховатости обработанной поверхности 1—9
- А. А. Искандирян.* Колебания неуравновешенных роторов на подшипниках качения 3—7
- М. В. Касьян, А. М. Арзуманян.* Динамическая устойчивость при прерывистом резании цветных металлов 4—3
- М. В. Касьян, Г. Б. Багдасарян, Г. А. Арутюнян.* Исследование температуры контакта при резании методом факторного планирования эксперимента 2—4
- М. В. Касьян, М. М. Симонян, М. Т. Наджирян.* Усталостная прочность и демпфирующая способность чугуновых державок инструментов 3—3
- М. В. Касьян, Г. Г. Шекач, Б. Н. Тен.* Оптимизация параметров режимов резания при обработке балочных деталей электродвигателей инструментов на СТМ 5—6
- Г. А. Ислаян.* Возможности применения эквидистантного копирования при обработке сложнопрофильных деталей 1—13
- А. И. Саградян.* О механизме изнашивания передней поверхности резцов из быстрорежущих сталей при обработке сталей 4—13
- В. С. Хомяков, О. В. Дюбалян.* Алгоритм идентификации упругих систем станков 4—7
- Ю. П. Шагаев, В. А. Зимбицкий, М. Г. Стакян, Г. Д. Петросян, М. С. Исхакиян.* Современные физические методы исследования и контроля процесса усталостного разрушения колесчатых валов 6—3
- Ю. П. Шагаев, М. Г. Стакян, Н. С. Исхакиян.* Измерение микротвердости в процессе усталостного повреждения для оценки работоспособности изделий 4—18
- Г. Г. Шекач.* К расчету колебаний стержневых систем с учетом диссипативных свойств гасителей 1—3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Э. А. Дастакян, Р. С. Овсепян, А. Г. Симонян.* Влияние продолжительности действия звукового сигнала в помещении на процесс его затухания 5—17
- М. Н. Могилевский, Ю. А. Гаспарян, В. В. Зорин.* О прохождении звука из объема помещения в воздухопод 6—3
- А. О. Саакян, Р. А. Котикян.* Методика определения прогибов железобетонных ядер жесткости многоярусных зданий с учетом развития трещин в бетоне 5—11

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Н. Н. Беклемишев, Е. Н. Веденяпин, Г. С. Шапиро.* Влияние амплитуды тока на ресурс пластичности проводящих материалов 4—25

ЭНЕРГЕТИКА

- Р. Ш. Абрамян.* Определение демпферных коэффициентов в многомашинной энергосистеме 4—30
- Л. Г. Агекян.* Формирование передачи постоянного тока для улучшения динамической устойчивости электрической системы 2—8
- С. Г. Аюкян.* Применение метода диакопты в расчету потоков распределения больших систем транспорта газа 5—41

- М. А. Балабекян, Г. С. Маркарян.* Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с использованием слабозаполненной матрицы Якоби 6—7
- А. Ю. Гарлускас, Я. А. Тибайшица.* Оптимизация газодобывающего района с учетом динамических и вероятностных условий развития 1—19

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- К. А. Алиханян.* Сравнительный анализ конструктивных особенностей асинхронных электродвигателей малой мощности с точки зрения надежности 6—20
- П. Ю. Каасик, Г. К. Сафарян, С. Ю. Мельников.* Характеристики двухскоростных асинхронно-индукторных двигателей 2—17
- М. А. Карапетян, А. Г. Шаган.* К расчету потенциала диэлектрического шара в поле цилиндрического потенциала 2—12
- В. Б. Нерсисян.* Расчет токоограничивающего преобразователя трансформаторного типа на основе теории цепей с распределенными параметрами 1—30
- И. Г. Никитян, М. Е. Нондел, Г. С. Ахоян.* Определение величины эксцентриситета ротора асинхронных двигателей малой мощности 1—25

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОТЕХНИКА

- С. М. Казарян.* Определение гидрогеологических параметров многослойной фильтрационной среды при различных режимах откачки из водоносных горизонтов 4—39
- Р. М. Рафаэлян, А. А. Каранфилян, Э. П. Ацилян, О. Р. Шагворян, А. С. Мелкоян, В. Г. Петросян, Г. Г. Нерсисян.* Регулятор давления непрямого действия для паворной оросительной сети 6—37
- Д. С. Торисян.* Масштабный фактор при моделировании тонкослойного сепарирования 5—36

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

- Г. Л. Арешян, А. М. Мелкумян.* Метод построения установившихся решений в многомерных нелинейных САУ при слабых взаимных связях 3—15
- О. Н. Гаспарян.* Вынужденные колебания и частичные показатели качества нелинейных многосвязных систем регулирования 5—29
- Д. С. Мелкоян, Т. Г. Арешян.* Помехоустойчивый регрессионный метод сокращения избыточных данных 5—23
- Г. В. Ялоян.* Об одном параметрическом методе оценки качества объекта 3—11

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- В. В. Алексиевский, С. М. Григорян, Д. Я. Свет, Р. Е. Ахоян.* Исследование оптического канала передачи для диагностики роторов крупных электрических машин 6—31
- С. Г. Кюрселян, Р. А. Ахоян.* Анализ установившихся ошибок в системах управления в зонах нечувствительности 2—32
- В. Р. Мартиросян.* Винеровская фильтрация изображений с управляемой резкостью 3—35
- С. Х. Оганисян.* Некоторые методологические особенности контроля работоспособности однородных регулярных структур 3—31
- А. С. Шахкамян.* Применение полупроводниковых терморезисторов для точного изменения температуры 3—27

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. С. Агалян, А. К. Матвеевян, А. А. Мурадян.* Детерминированные цифровые фильтры на семействе базисов типа Халла 6—25
- В. К. Брутян.* Об одном методе исследования непрерывных Марковских систем 2—23
- М. К. Брутян.* Оптимальное управление автоматической системой при структурных ограничениях управляющих параметров 1—20
- С. А. Косляченко, С. О. Котецян.* Синтез оптимальных модульных систем обработки данных в мультипроцессорных вычислительных системах 4—35
- С. У. Хамоян, Ж. Н. Пчохчян, Г. Ш. Агачян.* Об одном подходе расширения функциональных возможностей ЭВМ «Напри-1», используемой в режиме эмуляции «Напри-2» 1—37

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- А. М. Аветисян.* Исследование некоторых свойств сплавов оксида тантала-алюминия 2—38
- Р. Ф. Ганиев, Г. Р. Аветисян.* Исследование гидравлического удара в трубопроводных системах с низкочастотным стабилизатором колебаний давления 4—46
- Э. В. Карсаян, А. М. Мелкумян.* О предельных циклах в нелинейных многосвязных системах автоматического регулирования 2—40
- М. В. Касьян, М. М. Симонян, М. Т. Наджарян.* Оценка математической модели импульсной силы при прерывистом резании 1—42
- В. Г. Манасян.* Влияние подоцементного фактора и количества вовлечения воздуха на некоторые свойства беспесчаного керамзитобетона 3—46
- А. Г. Мирзаханян, Р. Е. Акопян.* Математическое моделирование процесса гидравлической классификации полидисперсных материалов 5—48
- Г. Г. Оганесян.* Определение мест размещения вычислительных центров коллективного пользования с учетом действующих в регионе вычислительных центров 2—44
- Г. Р. Сиватсян, А. А. Самирин.* Оптимизация кинематических факторов полирования покрытия магнитных дисков памяти ЭВМ 1—49
- М. Г. Согоян, А. А. Геворкян.* Определение опорной поверхности при нанесении РМР на плоскостях 3—39
- А. М. Хачатурян.* Построение траектории движения схвата промышленной робота 2—47
- А. А. Чуниев, А. В. Варданян, Н. А. Зайденман.* Прогнозирование качества капиллярных ртутно-электролитических элементов 3—43
- С. А. Шаболян.* Полупроводниковые защитные устройства «Протектор» 1—47

ПЕРСОНАЛИИ

- К 80-летию со дня рождения академика АН Арм.ССР М. В. КАСЬЯНА 5—3

Բ ՈՎ Ա Ն Դ Ա Կ ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

Մ Ի Փ Ե Ն Ա Շ Ի Ն ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

Յու. Պ. Շաղաև, Վ. Ա. Զինգրիպի, Մ. Յ. Ստալյան, Գ. Գ. Պետրոսյան, Ն. Ս. Իսախանյան: Ընկածն լիսեռների շոգնածայի ցայքայման պրոցեսի ստուգման և հետազոտման ժամանակակից ֆիզիկական մեթոդները	2
--	---

Շ Ի Ն Ա Ր Ա Ր Ա Կ Ա Ն Կ Ո Ն Ս Տ Ր ՈՒ Կ Ց ՈՒ Ա Ն Ե Ր

Ս. Ի. Մոզիլևսկի, Յու. Ա. Կասպարյան, Վ. Վ. Զորին: Շինությունից զնայի օդահաղորդագիտչ ձայնի անցման մասին	11
---	----

Է Ն Ն Ր Գ Ի Տ Ի Կ Ա

Մ. Ա. Սալարևյան, Հ. Ս. Մարգարյան: Ի՞նչ է ինկորալն էրզետիկական համակարգերի հաստատված ուժիմների որոշումը՝ սակավ լրացված ֆակտրյան մատրիցայի օգտագործմամբ	15
---	----

Է Լ Ե Կ Տ Ր Ա Տ Ի Խ Ե Կ Ա

Կ. Ա. Ալիխանյան: Փոքր շոգնություն ասինիբրոն էլեկտրաշարժիչների կառուցվածքային առանձնահատկությունների ուսումնասիրումը հոսալիություն տեսանկյունից	20
--	----

Հ Ա Շ Վ Ո Ղ Ա Կ Ա Ն Տ Ե Ն Ե Կ Ա

Ս. Ս. Աղայան, Ա. Կ. Մարկոսյան, Ա. Ա. Մուրադյան: Հաարի տիպի բազիսների բնասանիքով զևանրմինացված թվային ֆիլտրեր	25
--	----

Զ Ա Փ Ո Ղ Ա Կ Ա Ն Տ Ե Ն Ե Կ Ա

Վ. Վ. Ալեխանևսկի, Ս. Ն. Գրիգորյան, Ի. Յա. Ավետ. Ռ. Ս. Հակոբյան: Սպտիկական կապուչու հետապատումը խոշոր էլեկտրական մերենանների ոտտորների կանխորոշման համար	31
---	----

Հ Ի Գ Ր Ո Տ Ի Խ Ե Կ Ա

Ի. Ս. Ռաֆայելյան, Ա. Հ. Կառանդիկյան, է. Պ. Աշխիանցի Ս. Ռ. Նասոբյան, Ա. Ս. Մելիքոնյան, Վ. Գ. Պետրոսյան, Ի. Գ. Արսիսյան: Անուղղակի զործողությունը նշման կարգավորիչ ստուգման նշումային ցանցի համար	37
---	----

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Ю. П. Шагаев, В. А. Зимбицкий, М. Г. Стакли, Г. Д. Петросян, Н. С. Исоханян.* Современные физические методы исследования и контроля процесса усталостного разрушения коленчатых валов. 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- М. И. Мозилевский, Ю. А. Гаспарян, В. В. Зорин.* О прохождении звука из объема помещения в воздуховод. 11

ЭНЕРГЕТИКА

- М. А. Балабекян, Г. С. Маркарян.* Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с использованием слабозаполненной матрицы Якоби 15

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- К. А. Аlishанян.* Сравнительный анализ конструктивных особенностей асинхронных электродвигателей малой мощности с точки зрения надежности 29

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. С. Агаян, А. К. Матевосян, А. А. Мурадян.* Детерминированные цифровые фильтры по семейству базисов типа Хаара 25

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- В. В. Алексеевский, С. М. Григорян, Д. Н. Свет, Р. Е. Акопян.* Исследование оптического канала передачи для диагностики роторов крупных электрических машин 31

ГИДРОТЕХНИКА

- Р. М. Рафаэлян, А. А. Киранфилян, Э. П. Ацциянц, О. Р. Шатаворян, А. С. Мелконян, В. Г. Петросян, Г. Г. Нерсисян.* Регулятор давления непрямого действия для напорной оросительной сети. 37