

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

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

Կ Ր Ա Յ Դ Ե Ն Կ Ո Ւ Ն Յ Ի Ն

Պատանյան Մ. Վ. (պատ. խմբագրի), Սյունց Զ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Արևրսեևսկի Վ. Վ., Զաղոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ե.,
Սարգսյան Յու. Լ., Ստալյան Մ. Գ., Յեր-Ազարե Ի. Ա.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Գևորգյան Գ. Գ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Адонц Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Акопян Р. Е., Забяян М. А.,
Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Л.,
Стакян М. Г., Тер-Азарьян И. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

М. В. КАСЬЯН, Г. Н. НИКОГОСЯН, В. А. РОБСМАН

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ
АМОРФНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

При изучении физики процесса обработки различных материалов резцами или шлифованием возникает вопрос о необходимости контроля качества обработанной поверхности, выбора оптимальной скорости и глубины резания и экономии ресурсов. В настоящей работе предпринята попытка сформулировать физические принципы хрупкого разрушения поверхности материала по данным неразрушающего контроля процесса резания обсидиана с использованием метода акустической эмиссии (АЭ).

Разрушение обсидиана начинается на поверхности и в качестве критерия разрушения представляется возможность использовать максимальное нормальное напряжение. Испытания показали, что скорость развития трещин равна 1600—1900 м/с, что приблизительно соответствует половине скорости поперечных упругих волн, зарегистрированных ультразвуковым и импульсно-резонансным методами. Обнаружение трещин в поверхностном слое материала, возникающих при обработке, может быть реализовано различными методами, одним из которых является метод АЭ. Это позволяет оценить скорость образования и роста трещин, установить корреляционные связи между параметрами сигналов АЭ и размерами трещин [1].

Качественная картина процесса разрушения поверхности хрупких материалов при их механической обработке (параметры резания: подача $S = 0,07$ мм/об; глубина резания $t = 0,1$ мм; скорость перемещения V резцов Т14К8, корунда и эльбора-Р соответственно 40 м/мин, 30 м/мин и 42 м/мин) выглядит следующим образом: интенсивность образования и роста трещин определяется, в первую очередь, глубиной резания, т. е. это зависит от давления резца, и скоростью его перемещения при данной глубине резания. При этом в контактной зоне на обрабатываемой поверхности образуется подвижная граница — фронт разрушения, который делит тело на разрушенную и неразрушенную области.

Имеется опыт использования метода АЭ для анализа хрупкости поверхностного слоя металла, когда при нанесении параниппи вольфрамовым индентором образовывалось множество серповидных трещин. Измерение суммарного количества возникающих импульсов АЭ при заданном усилии прижатия индентора позволило установить число образовавшихся микротрещин и хрупкость поверхностного слоя металла [1].

Методика проведенного эксперимента следующая. Акустические волны, возбуждаемые образованием и ростом развивающихся трещин, регистрировались широкополосным пьезоэлектрическим преобразователем, закрепленным с помощью магнитного устройства на резце. Сигналы АЭ имели вид случайной последовательности радиопульсов, которые соответствовали событиям-вспышкам развития трещин и откола кусочков материала (рис. 1). Естественно, что в зависимости от скорости резания и хрупкости материала возможно возникновение как дискретной, так и непрерывной АЭ. В первом случае сигналы не перекрывают друг друга, но с ростом скорости они представляют вид непрерывного радиосигнала, похожего на шумовой, с достаточно широким спектром частот.

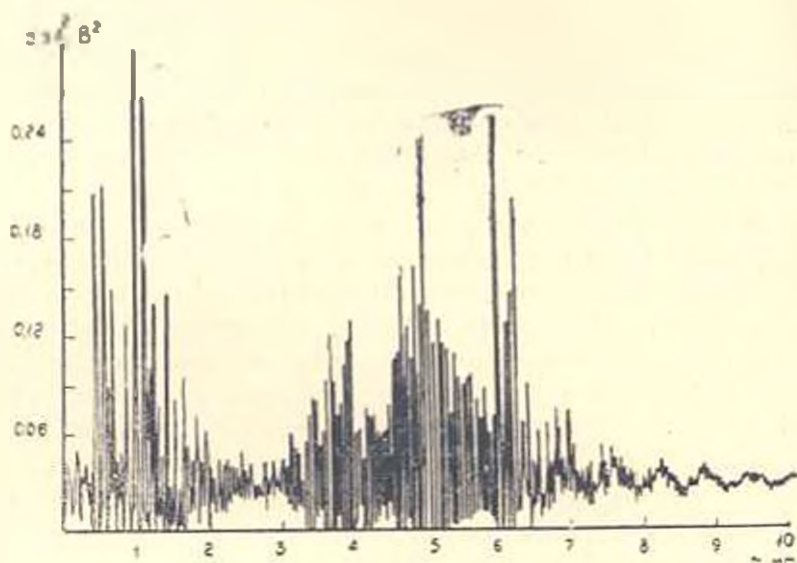


Рис. 1. Сигналы акустической эмиссии при механической обработке обсыдиана (ось X — время t , ось Y — квадрат амплитуды сигнала A^2).

После фильтрации посторонних шумов и требуемого усиления сигналы поступали на вход аналого-цифрового преобразователя ЭВМ ИИ-110. Учитывая стохастичность появления сигналов и изменения их параметров, для обработки и анализа были использованы методы теории случайных процессов. Параметры обработки сигналов приняты согласно ГОСТ 26.002-80, использование которых позволило сделать ряд важных выводов о механизме разрушения некоторых материалов. Были определены спектральная плотность, максимум энергии в спектре и соответствующая этому максимуму частота и мощность спектральной плотности.

В качестве образцов материала были использованы обсыдиановые призмы с различной шероховатостью поверхности. Образующиеся под движущимся резцом трещины представлены достаточно широким спектром частот. Выполненный спектральный анализ сигналов АЭ показал, что при трещинообразовании обсыдиана возникают импульсы в зву-

ковом и ультразвуковом диапазонах, однако каждому из использованных видов резцов характерен свой диапазон изменения частот и величина мощности спектральной плотности, а экстремумы энергии концентрируются в различных зонах спектра. Для резца Т14К8 спектральная плотность имеет явно выраженные максимумы на частотах 4,785 кГц и 10,839 кГц, а резцу из технического рубина соответствует генерация сигналов АЭ более высокой частоты (около 12 кГц). Резец из эльбора-Р при обработке поверхности обсидиана способствует такому разрушению его поверхности, при котором спектр акустических сигналов имеет еще более высокие частоты — 15,429 кГц и 25,390 кГц (рис. 2). Учитывая, что частота сигналов АЭ зависит от линейных размеров образующихся под резцом трещин, можно сделать вывод, что спектральная плотность сигналов АЭ позволяет контролировать чистоту обработанной поверхности материала.

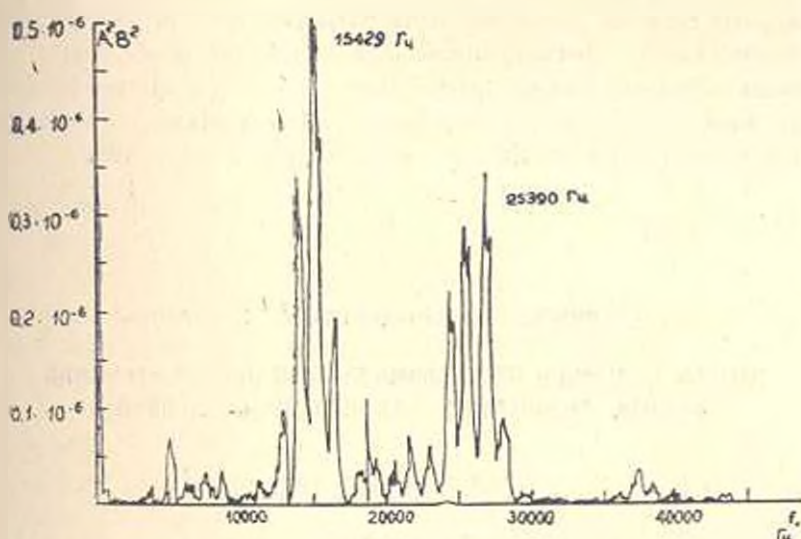


Рис. 2. Спектральная плотность сигналов акустической эмиссии при обработке обсидиана резцом из эльбора-Р (ось X — частота f ; ось Y — квадрат амплитуды сигнала A^2).

При упруго-пластичном разрушении высокочастотные сигналы АЭ обычно связывают с пластическими деформациями, а низкочастотные — с зарождением микроразрушений [2]. Поэтому можно предположить, что резко выраженные пики на частотных спектрах свидетельствуют об образовании нескольких размеров трещин, т. к. в обсидиане отсутствуют пластические деформации.

Обсидиану, как и другим хрупким материалам, свойственна способность к самоподдерживающему механизму разрушения при его обработке. При движении сосредоточенного усилия вдоль поверхности, имеющей микро- и макротрещины, поле напряжений под резцом внезапно освобождается от нагрузки, что способствует возникновению волн разгрузки. Если потенциальная энергия давления резца велика, то об-

разрующиеся трещины станут неустойчивыми и их дальнейший рост приведет к образованию либо больших сколов, либо к расколу обрабатываемого тела.

Выполненный анализ изменения спектральной плотности сигналов акустической эмиссии при перемещении резца по поверхности обсидиана позволил обнаружить периодичность изменения частоты, соответствующей максимуму спектральной плотности.

В работах [3, 4] показано, что периодичность изменения скорости движения трещины при разрушении хрупких тел связана с чередованием хрупкого разрушения и пластических деформаций. В работе [5] также развиваются представления об автоколебаниях трещин и других дефектов, подчеркивается, что это явление может служить основой для оценки предразрушающего состояния материалов. В нашем случае периодическое смещение максимума спектральной плотности соответствовало диапазону частот собственных колебаний системы, которые определялись измерением резонансной частоты спектра при воздействии коротким импульсом и регистрацией волны колебаний в образце.

Таким образом, можно предположить, что процессу разрушения хрупких материалов также свойственно явление автоколебаний, как чередование образующихся трещин разного линейного размера.

ЕрПН им. К. Маркса

23. XI. 1986

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ, Գ. Ն. ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ, Վ. Ա. ԽԱՐՍՄԱՆ

ԱՄՈՐՖ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՈՒՄ ՓԵՐՈՒՆ ԲԱՅԲԱՅՄԱՆ ՁԱՅՆԱԳԻՏԱԿԱՆ ԷՄԻՍԻԱՆ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Բերված են տարբեր տեսակի կտրիչներով օբսիդիանի մեխանիկական մշակման ընթացքում մակերևույթի վրա առաջացած միկրո և մակրոճարերի գրանցման ձայնագրիտական էմիսիայի կիրառման արդյունքները: Կատարված փորձի մեթոդիկան նախատեսում է այնպիսի սարքերի օգտագործում, որոնք տալիս են ազդանշանների անընդհատ հաշորդականությունը պատահական պրոցեսի տեսքով և դրանց մշակումը ժամանակի իրական մասշտաբում՝ օգտագործելով էՆԼԲ: Կատարված տարրապատկերային վերլուծումը ցույց տվեց, որ արտաքին ազդեցության տարբեր պարամետրերին համապատասխանում են ձայնային և գերձայնային դիսպոզիցիաներում ձայնագրիտական էմիսիայի ազդանշանների կարողության տարբեր տարրապատկերները: Տարրապատկերային խտության առավելագույն արժեքները և նրանց համապատասխանող հաճախականությունները օպտագործվում են որպես կտրման ռեժիմների օգտագործվող գործիքի որոշման ինդիկատոր: Որոշված է տարրապատկերային խտության առավելագույն արժեքների պարբերական շեղման օրինաչափությունը որոշակի հաճախական սահմանում, որը կարելի է բացատրել մշակվող մակերևույթի վրա ճարերի առաջացման արագության պարբերականությամբ:

1. Грешников В. А., Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия.— М.: Изд-во стандартов, 1976, с. 112—128.
2. Юдин А. А., Иванов В. И. Акустическая эмиссия при пластической деформации металлов — Проблемы прочности, 1985, № 6, с. 92—106.
3. Баренблатт Г. И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении.— ПМТФ, 1961, № 4, с. 31—39.
4. Баренблатт Г. И., Салганик Р. Л. О расклинивании хрупких тел. Автоколебания при расклинивании.— Прикладная математика и механика, АН СССР, 1963, т. XXVII, вып. 3, с. 436—449.
5. Бовенко В. Н. Теория акустической эмиссии в деформированных кристаллах.— М.: Душанбе: В сб.: Прогноз землетрясений, 1983, № 4, с. 70—91.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. А. КАРАПЕТЯН, Л. О. КАРАХАНИЯН, К. Г. КРИКОРЯН

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В ТАБАЧНОМ ЛИСТЕ

В настоящее время для массовой сушки табачных листьев применяются конвективные сушильные установки, использующие в качестве сушильного агента горячий воздух. Однако известно, что после завершения этой сушки у 10—20% всего количества высушиваемых листьев центральные жилки и черешки оказываются невысушенными. Это обусловлено большим объемом и сравнительно малой поверхностью испарения влаги у жилки и черешка.

Некоторое применение получил способ сушки табачных листьев токами высокой частоты [1], который обеспечивает более высокое качество высушенных табачных листьев и значительную скорость. Но экономически он не может конкурировать с конвективным способом, т. е. требует большого удельного расхода электроэнергии на 1 кг испаренной влаги.

В настоящей статье обоснована экономическая целесообразность конвективно-высокочастотного способа сушки табачных листьев, не имеющего недостатков указанных двух способов сушки. Интенсификация процесса сушки достигается за счет создания небольшого положительного температурного градиента внутри табачного листа, необходимого только для перемещения влаги из внутренних слоев листа и жилки на поверхность. Испарение влаги с поверхности происходит за счет более дешевой тепловой энергии.

Для определения оптимальных условий процесса комбинированной сушки необходимо выявить зависимость перепада температур от значения электрофизических параметров, геометрических размеров и объемной концентрации высушиваемых листьев при данной частоте и напряженности высокочастотного электрического поля. Ниже приво-

1. Грешников В. А., Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия.— М.: Изд-во стандартов, 1976, с. 112—128.
2. Юдин А. А., Иванов В. И. Акустическая эмиссия при пластической деформации металлов — Проблемы прочности, 1985, № 6, с. 92—106.
3. Баренблатт Г. И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении.— ПМТФ, 1961, № 4, с. 31—39.
4. Баренблатт Г. И., Салганик Р. Л. О расклинивании хрупких тел. Автоколебания при расклинивании.— Прикладная математика и механика, АН СССР, 1963, т. XXVII, вып. 3, с. 436—449.
5. Бовенко В. Н. Теория акустической эмиссии в деформированных кристаллах.— М.: Душанбе: В сб.: Прогноз землетрясений, 1983, № 4, с. 70—91.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. А. КАРАПЕТЯН, Л. О. КАРАХАНИЯН, К. Г. КРИКОРЯН

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В ТАБАЧНОМ ЛИСТЕ

В настоящее время для массовой сушки табачных листьев применяются конвективные сушильные установки, использующие в качестве сушильного агента горячий воздух. Однако известно, что после завершения этой сушки у 10—20% всего количества высушиваемых листьев центральные жилки и черешки оказываются невысушенными. Это обусловлено большим объемом и сравнительно малой поверхностью испарения влаги у жилки и черешка.

Некоторое применение получил способ сушки табачных листьев токами высокой частоты [1], который обеспечивает более высокое качество высушенных табачных листьев и значительную скорость. Но экономически он не может конкурировать с конвективным способом, т. е. требует большого удельного расхода электроэнергии на 1 кг испаренной влаги.

В настоящей статье обоснована экономическая целесообразность конвективно-высокочастотного способа сушки табачных листьев, не имеющего недостатков указанных двух способов сушки. Интенсификация процесса сушки достигается за счет создания небольшого положительного температурного градиента внутри табачного листа, необходимого только для перемещения влаги из внутренних слоев листа и жилки на поверхность. Испарение влаги с поверхности происходит за счет более дешевой тепловой энергии.

Для определения оптимальных условий процесса комбинированной сушки необходимо выявить зависимость перепада температур от значения электрофизических параметров, геометрических размеров и объемной концентрации высушиваемых листьев при данной частоте и напряженности высокочастотного электрического поля. Ниже приво-

дится расчет температурного поля в пластинке табачного листа. При этом пластинка листа может быть рассмотрена как однородное тело, имеющее форму сплюснутого эллипсоида вращения и характеризующееся комплексной диэлектрической проницаемостью ϵ_T (абсолютная диэлектрическая проницаемость ϵ_T). Обозначим комплексную диэлектрическую проницаемость окружающей лист среды ϵ_0 (соответственно ϵ_0).

Для определения теплового поля необходимо решить уравнение теплопроводности, которое в нашем случае, когда источником тепла является электрическое поле, имеет вид:

$$\nabla^2 \theta = \frac{c_T}{\lambda_T} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\gamma_T (\nabla \varphi)^2}{\lambda_T} \quad (1)$$

φ — комплексный потенциал высокочастотного электрического поля;
 θ — перепад температур; γ_T , λ_T — удельная проводимость и теплопроводность материала пластинки; c_T — удельная теплоемкость материала.

Считаем величины γ_T , λ_T и c_T заданными, а высокочастотное электрическое поле — потенциальным, т. е. функция потенциала удовлетворяет уравнению Лапласа

$$\nabla^2 \varphi = 0. \quad (2)$$

Рассмотрим установившийся режим нагрева пластинки. При наличии отвода тепла от нагреваемого тела установится определенный перепад температур $\theta = \text{const}$, $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$, тогда уравнение (1) примет вид

$$\nabla^2 \theta = - \frac{\gamma_T (\nabla \varphi)^2}{\lambda_T}. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) имеет вид [2]:

$$\theta = \theta' + \theta'', \quad (4)$$

где

$$\theta' = - \frac{\gamma_T \cdot \varphi^2}{2\lambda_T}; \quad (5)$$

θ'' — функция, удовлетворяющая уравнению Лапласа.

Из (5) следует, что температура в данной точке сплюснутого эллипсоида пропорциональна квадрату потенциала электрического поля там же. Следовательно, расчет θ' сводится к решению уравнения Лапласа (2).

Рассмотрим сплюснутый эллипсоид вращения, расположенный в однородном электрическом поле E_0 . Считаем, что поле направлено по оси вращения эллипсоида. Воспользуемся сферической системой координат и введем координаты ξ , η , α сплюснутого сфероида [2].

Для определения распределения электрического поля внутри и вне рассматриваемого сфероида найдем решение уравнения Лапласа (2) в указанных областях. В системе координат сплюснутого эллипсоида вращения это уравнение с учетом симметрии имеет вид [2]:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial}{\partial \xi} \left[(1 + \xi^2) \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} \left[(1 - \eta^2) \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right] = 0. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) можно представить в виде

$$\varphi(\xi, \eta) = \sum_{m,n} X_{mn}(\xi) Z_{mn}(\eta). \quad (7)$$

Разделив переменные, можно убедиться, что $Z_{mn}(\eta)$ и $X_{mn}(\xi)$ удовлетворяют присоединенному уравнению Лежандра и присоединенному уравнению Лежандра чисто мнимого аргумента соответственно, т. е.

$$X_{mn}(\xi) = A_1 P_n^m(j\xi) + B_1 Q_n^m(j\xi), \quad (8)$$

$$Z_{mn}(\eta) = A_2 P_n^m(\eta) + B_2 Q_n^m(\eta). \quad (9)$$

Учитывая аксиальную симметрию задачи, нужно положить $m = 0$, что означает исключение из рассмотрения всех присоединенных функций Лежандра. Следовательно, остается определить функции P_n и Q_n вещественного и мнимого аргумента.

Переменная η в (9) изменяется от значения -1 до $+1$. Функции Лежандра второго рода $Q_n(\eta)$ при $\eta = \pm 1$ не остаются конечными, поэтому в решении уравнения (7) будем иметь только функцию $P_n(\eta)$.

Функция потенциала вне и внутри сфероида выразится следующим образом:

$$\varphi_e(\xi, \eta) = \sum_n [A_n P_n(j\xi) + B_n Q_n(j\xi)] P_n(\eta); \quad (10)$$

$$\varphi_i(\xi, \eta) = \sum_n C_n P_n(j\xi) P_n(\eta). \quad (11)$$

Постоянные интегрирования определим из предельных и граничных условий:

а) вдали от сфероида при $\xi \rightarrow \infty$ его возмущающее влияние должно исчезать, поэтому потенциал должен совпадать с потенциалом внешнего однородного поля;

б) на границе раздела двух сред ($\xi = \xi_0$) нормальная составляющая вектора электрического смещения и потенциал непрерывны:

$$(\varphi_e)_{\xi=\xi_0} = (\varphi_i)_{\xi=\xi_0}; \quad (12)$$

$$\varepsilon_0 \left(\frac{\partial \varphi_e}{\partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0} = \varepsilon_i \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0}. \quad (13)$$

Подставляя выражения φ_i и φ_e по (10) и (11) и их производных в (12) и (13), определяем B_1 и C_1 и для функций потенциалов φ_e и φ_i получаем:

$$\varphi_i(\xi, \eta) = -E_0 \varepsilon \frac{P_1(j\xi) P_1(\eta)}{1 - k \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} (\beta - \operatorname{arctg} \beta)}; \quad (14)$$

$$\varphi_e(\xi, \eta) = \left[-E_0 \varepsilon P_1(j\xi) - E_0 \varepsilon \frac{k \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} (\beta - \operatorname{arctg} \beta)}{1 - k \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} (\beta - \operatorname{arctg} \beta)} \right] Q_1(j\xi) P_1(\eta). \quad (15)$$

Подставляя выражения φ_e и φ_i в (5), получаем функции θ_i и θ_e внутри и вне сфероида:

$$\theta_i = \frac{e^2 \gamma_0 E_0^2}{2\lambda_1} \frac{1}{k_1 k_1^*} \xi^2 \eta^2; \quad (16)$$

$$\theta_e = -\frac{e^2 \gamma_0 E_0^2}{2\lambda_1} \left[1 + \frac{1 + \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} Q_1(j\xi) k}{k_1} \right] \left[1 + \frac{1 + \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} Q_1(j\xi) k^*}{k_1^*} \right] \xi^2 \eta^2, \quad (17)$$

где

$$k_1 = 1 - \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} (\beta - \operatorname{arctg} \beta) k; \quad k_1^* = 1 - \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} (\beta - \operatorname{arctg} \beta) k^*,$$

k^* — комплексное число, сопряженное с k .

Функции θ_i и θ_e должны выбрать так, чтобы они удовлетворяли уравнению Лапласа, а функции θ_i и θ_e следующим граничным условиям:

$$\theta_e = 0; \quad (\theta_i)_{\xi=\eta=1} = (\theta_e)_{\xi=\eta=1}; \quad \lambda_1 \left(\frac{\partial \theta_i}{\partial \xi} \right)_{\xi=\eta=1} = \lambda_0 \left(\frac{\partial \theta_e}{\partial \xi} \right)_{\xi=\eta=1}. \quad (18)$$

Решение уравнения (6) аналогично выражениям (10) и (11) при $n = 2$ и $n = 0$.

Таким образом, функции превышения температуры внутри и вне сфероида, согласно (4), принимают вид:

$$\theta_i = -\frac{e^2 \gamma_0 E_0^2}{2\lambda_1} \frac{1}{k_1 k_1^*} \xi^2 \eta^2 + A' (3\xi^2 + 1)(3\eta^2 - 1) + B_1'; \quad (19)$$

$$\theta_c = -\frac{e^2 \gamma_0 E_0^2}{2\gamma_0} \left[1 + \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} \frac{k Q_1(j\xi)}{k_2} \right] \left[1 + \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} \frac{k Q_1(j\xi)}{k_2^*} \right] +$$

$$+ c' (3\xi^2 + 1) (3\gamma^2 - 1) + D' (3\gamma^2 - 1) \times$$

$$\times \left[(3\xi^2 - 1) j \operatorname{arctg} \xi - \frac{3}{2} j \xi \right] + F j \operatorname{arctg} \xi. \quad (20)$$

Постоянные интегрирования определяем из граничных условий (18).

В предельном случае, когда $\gamma_0 = 0$, $\lambda_1 \gg \lambda_0$, можно считать $\lambda_1 \rightarrow \infty$ и предельным переходом для θ_c будем иметь:

$$\theta_i = \frac{\gamma_1 e^2 E_0^2}{\gamma_0} \cdot \frac{(1 + \beta^2) \operatorname{arctg} \beta}{3\beta(1 - N_2 k)(1 - N_2 k^*)}. \quad (21)$$

Формула (21) позволяет рассчитать значение температуры внутри пластины табачного листа при известных значениях параметров γ_1 , γ_0 , ϵ_0 , λ_0 , коэффициента деноляризации N_2 , напряженности и частоты внешнего электрического поля.

В таблице приведены результаты расчета превышения температуры θ_p в центре табачных листьев при частоте $f = 25$ МГц, $E_0 = 31\,000 \frac{B}{M}$ и при различных начальных влагосодержаниях W .

Таблица

$W_1, \%$	20	21	23	31	58	67
$\theta_p, ^\circ C$	21,7	24,6	35,6	23,6	25,8	39,3
$\theta_{ex}, ^\circ C$	18,5	21	31,5	20	21,5	35
$h, \%$	14,7	14,8	11,6	15,4	16,7	10,9

Приведены также экспериментальные значения температуры в центре табачного листа и относительные расхождения h между экспериментальными и расчетными величинами.

Сопоставление теоретических (θ_p) и экспериментальных (θ_{ex}) результатов подтверждает достаточную для практики точность расчетов теплового поля.

ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԴԱՇՏԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՆԽԱԽՈՏԻ ՏԵՐԵՎՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ուսումնասիրված է ջերմաստիճանի բարձրացումը ձխախոտի տերեխի ներսում, երբ այն գտնվում է բարձր հաճախության էլեկտրական դաշտում: Ցույց է արված, որ ջերմաստիճանի բարձրացումը կախված է տերեխի երկրաչափական ձևից, շափերից, ինչպես նաև նրա խոնավությունից և էլեկտրաֆիզիկական հատկություններից:

Հաշվարկային տվյալները համեմատված են փորձնական նդանակով ջերմաստիճանի չափման արդյունքների հետ՝ սկզբնական խոնավության տարբեր արժեքների դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Авакян Д. П. Исследование процесса сушки табачных листьев в электрическом поле высокой частоты:— Автореф. дисс. канд. техн. наук.— Волгоград, 1975.— 23 с.
2. Арфкен Г. Математические методы в физике — М.: Атомиздат, 1970.— 712 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТИ), т. XL, № 4, 1987

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

С. Д. ХОЛОДНЫЙ, Э. А. ХАН, А. С. АБЕЛЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЯ ЭМАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПРОВОДОВ

Для сверхпроводящих проводов, изготавливаемых в настоящее время, в связи с возможным снижением критического тока, максимальная температура термообработки составляет 300°С [1]. Поэтому целесообразно использовать эмаль на основе полиамидимидных лаков (провод ПЭТ-200). Такие провода можно длительно эксплуатировать при температуре 200°С, а при кратковременных перегревах и при более высоких температурах. Эта эмаль обладает также высокой механической прочностью.

Для расчета технологических режимов было проведено исследование кинетики процесса пленкообразования указанных эмалей. В процессе пленкообразования происходит реакция поликонденсации, в результате которой полимер переходит в несплавное и нерастворимое состояние. Общее число активных групп, вступающих в реакцию, обозначим N_0 . В заданный момент времени остается N групп, еще не вступивших в реакцию, а число групп, уже вступивших в реакцию, равно

$(N_0 - N)$. Если измерять потерю массы ΔG в этом процессе, то ΔG пропорциональна $(N_0 - N)$. Определим понятие «степень сшивания» как

$$\alpha = \Delta G / \Delta G_0 = (N_0 - N) / N_0. \quad (1)$$

Тогда дифференциальное уравнение для химической реакции пленкообразования может быть записано в виде

$$d\alpha/dt = -N_0^{(n-1)} K (1 - \alpha)^n, \quad (2)$$

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (3)$$

где K — константа скорости реакции пленкообразования, c^{-1} ; n — порядок химической реакции; E — энергия активации реакции, Дж/моль; K_0 — предэкспоненциальный множитель, c^{-1} ; $R = 8,31$ Дж/моль $\cdot$ К — газовая постоянная; T — термодинамическая температура, К.

После интегрирования уравнения (2) при $t = 0$, $\alpha = 0$ получим:

$$\frac{1}{(n-1)} \left[\frac{1}{(1-\alpha)^{n-1}} - 1 \right] = N_0^{n-1} \int_0^t K dt, \quad (4)$$

а при $n = 1$ (реакция первого порядка) вместо уравнения (4) —

$$\alpha = 1 - \exp\left(-\int_0^t K dt\right). \quad (5)$$

При постоянной температуре обработки величина K постоянна и из уравнений (4) и (5) следует:

$$\left| \frac{1}{(1-\alpha)^{n-1}} - 1 \right| = K_{\infty} t, \quad (6)$$

где

$$K_{\infty} = N_0^{n-1} K_0^{(n-1)}; \quad (1 - \alpha) = \exp(-Kt). \quad (7)$$

При термообработке в результате химической реакции удаляются побочные продукты реакции и происходит потеря массы эмали ΔG , которая пропорциональна $(N_0 - N)$. Полная потеря массы пропорциональна K_0 . Тогда относительная потеря массы равна

$$\overline{\Delta G} = \Delta G / \Delta G_0 = \alpha. \quad (8)$$

При реакции поликонденсации образуется пространственная структура в полимере и увеличивается модуль упругости эмали в нагретом состоянии, что уменьшает термодетормацию эмали в обмотках, что важно для их эксплуатации.

При небольшой длительности термообработки (до 200° С) опыты проводились с помощью нагретого металлического цилиндра. Лак на-

носился на алюминиевую фольгу ($\Delta = 0,01$ мм) и при температуре 150°C в течение 30 мин удалялся растворитель (толщина сухой основы 0,03—0,05 мм). Затем фольга с эмалью прижималась к нагретому массивному металлическому цилиндру. Температура цилиндра и время обработки фиксировались. Определялась начальная масса эмали без растворителя и масса после термообработки. Затем этот же образец снова прижимался к цилиндру и снова взвешивался. Результаты опытов приведены на рис. 1а. На рис. 1б показана зависимость вида (6) при $n = 2$: прямолинейный характер зависимостей свидетельствует о потере массы по законам реакции второго порядка. При этом $K_{oc} = 0,3574 \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1}$; $E = 10,84 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}$.

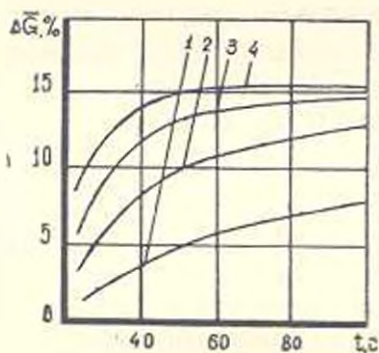


Рис. 1а. Потери массы при пленкообразовании от времени при постоянных температурах для полиимидного лака: 1— 205°C ; 2— 236°C ; 3— 256°C ; 4— $277,8^\circ\text{C}$.

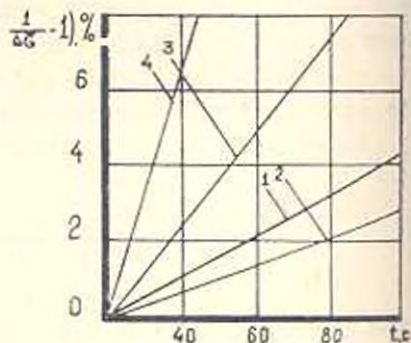


Рис. 1б. Зависимость вида $(1/\Delta G - 1)$ от времени при постоянных температурах для полиимидного лака: 1— 205°C ; 2— 236°C ; 3— 256°C ; 4— $277,5^\circ\text{C}$.

Изотермические кривые потери массы были получены также методом термогравиметрического анализа при температурах 207°C , 220°C , 240°C и 260°C . Обработка этих кривых также указывает на реакцию второго порядка: $E = 9,09 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}$; $K_{oc} = 0,29 \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1}$.

Для исследования термодформации образцы готовились аналогично условиям рис. 1. Для измерения термодформации от фольги обрезался образец размером $3 \times 10 \text{ мм}^2$. Деформация происходила по длине проволоки 2 мм при усилии сжатия 15 Н. Вся область испытаний помещалась в печь и производилось нагревание со скоростью 20°C/мин . Величина термодформации Δv составляла до 0,002 мм, а то длина эмали $\Delta_0 \approx 0,022 \text{ мм}$.

Результаты опытов при температуре обработки 220°C приведены на рис. 2. Температура начала размягчения эмалей, при которой начинает появляться термодформация, примерно на 10°C ниже температурного индекса эмалированных проводов [3], поэтому для обработки результатов термодформации эмали проводов марки ПЭТ-200 выбрана температура 190°C . При всех температурах обработки (220°C , 240°C , 260°C , 290°C) кривые зависимости относительной термодформации от времени обработки близки по форме к экспонентам (рис. 3),

а при $t=0$ эти кривые сходятся в области $\bar{\epsilon}_s \approx 0,1$, следовательно, величина $\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}_s / \epsilon_s$ приблизительно равна отношению числа непрореагировавших групп N/N_0 или величине $\bar{\epsilon} \approx 1 - \alpha$.

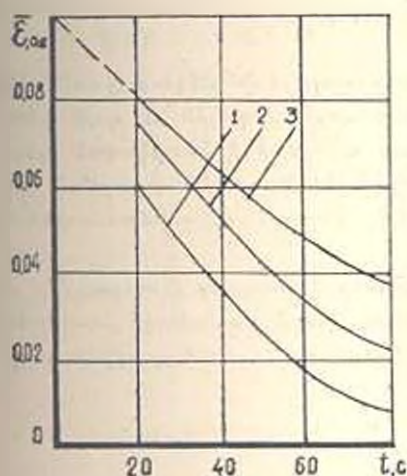


Рис. 2. Зависимость относительной термодеформации от температуры при постоянных временах и температуре обработки (220°C): 1—20 с; 2—40 с; 3—80 с.

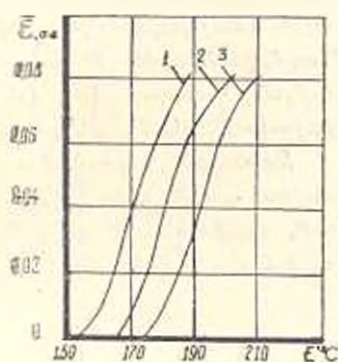


Рис. 3. Зависимость относительной термодеформации от времени при постоянных температурах: 1— 180°C ; 2— 185°C ; 3— 190°C .

Используя уравнения (3), по данным для температур 220°C и 260°C получаем значения K_0 и E для термодеформации: $n = 1$; $K_0 = 1,47 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$; $E = 6,68 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}$.

При сопоставлении зависимостей константы скорости реакции пленкообразования от температуры для потери массы и термодеформации можно сделать вывод о том, что константы $((n-1) K_0 N_0^{n-1})$ равны при температуре, примерно, 220°C . При повышении температуры значение $((n-1) K_0 N_0^{n-1})$ по потере массы возрастает быстрее.

Расчеты по химическим формулам показывают, что при поликонденсации максимальная потеря массы составляет около 4—5% от сухой эмали. Исследования потери массы показали, что на практике эта величина достигает 16%, а реакция по потере массы имеет порядок, равный 2, с энергией активации $E = 10,68 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль}$.

Для нагревания движущейся проволоки до температуры $T_{\text{м.п.}}$ температура в печи должна быть выше этой величины, следовательно при температуре в печи 300°C практически нельзя нагреть проволоку до температуры выше 280°C . Следует ожидать, что скорость эмалирования СП проводов будет ниже, чем у обычных проводов, в связи с чем увеличивается стоимость и снижается производительность труда. Но это окупается повышением качества СП проводов и снижением отходов на брак.

ԳԵՐՀԱՂՈՐԴԻՉ ՀԱՂՈՐԴԱԼԱՐԵՐԻ ՄԵԿՈՒՍԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԿԻՐԱՌՎՈՂ ԼՈՒՍԻ ԹԱՂԱՆԹԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո մ

Ուսումնասիրվել է գերհաղորդիչ հաղորդալարերի մեկուսացման տեխնոլոգիական ուժիմների հաշվարկի համար պոլիամիդային ու պոլիուրեթային էմալ-լարերի թաղանթառաջացման պրոցեսի կինետիկական պարամետրերը: Որոշվել են ակտիվացման էներգիան, թաղանթառաջացման արագության հաստատունը, էմալի դանգվածի կորստի ու ջերմաձևափոխման բիմիական ուսկցիաների կարգը:

Ձանգվածի կորուստի ուսումնասիրությունը կատարվել է տաքացված մետաղյա պլանի դիսկայամբ՝ ջերմամշակման կարճ ժամանակի պայմաններում, իդոթերմային ու դինամիկական ուժիմներում ջերմազրափոխական փրլուծական Լդանակի օդնությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Зинкенич В. Б., Сычев В. В. Магнитные системы из сверхпроводников — М.: Наука, 1972. — 330 с.
2. Эмдландт В. Термические методы анализа: Пер. с англ. / Ред. В. А. Степанова и В. А. Берштейн — М.: Мир, 1978. — 517 с.
3. Холодный С. Л. Электрические и физико-механические свойства эмалированных проводов. — Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника, 1980, вып. 1 (179), с. 9—10.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. Г. КОБЗЕВ, О. В. ДУБРОВСКИЙ, А. Г. КОБЗЕВ, Л. А. МАНУКЯН

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МНОЖЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ГРАФОВ

В связи с постоянным обновлением электротехнических и радиоэлектронных устройств и ужесточением предъявляемых к ним требований особое место среди задач, возлагаемых на системы автоматизации проектирования и испытаний, занимает задача обеспечения высокого качества и надежности разрабатываемых устройств. Высокие эксплуатационные показатели изделий обеспечиваются прежде всего полнотой их контроля и испытаний на всех стадиях производства.

Для автоматизации процессов организации и проведения испытаний необходима соответствующая формализация возникающих задач [1]. Большое разнообразие и высокая сложность современных методов

ԳԵՐՀԱՂՈՐԴԻՉ ՀԱՂՈՐԴԱԼԱՐԵՐԻ ՄԵԿՈՒՍԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԿԻՐԱՌՎՈՂ ԼՈՒՍԻ ԹԱՂԱՆԹԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո մ

Ուսումնասիրվել է գերհաղորդիչ հաղորդալարերի մեկուսացման տեխնոլոգիական ուժիմների հաշվարկի համար պոլիամիդային ու պոլիուրեթային էմալ-լարերի թաղանթառաջացման պրոցեսի կինետիկական պարամետրերը: Որոշվել են ակտիվացման էներգիան, թաղանթառաջացման արագության հաստատունը, էմալի դանգվածի կորստի ու ջերմաձևափոխման բիմիական ուսկցիաների կարգը:

Ձանգվածի կորուստի ուսումնասիրությունը կատարվել է տաքացված մետաղյա պլանի դիսկայամբ՝ ջերմամշակման կարճ ժամանակի պայմաններում, իդոթերմային ու դինամիկական ուժիմներում ջերմազրափոխական փրլուծական Լդանակի օդնությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Зинкенич В. Б., Сычев В. В. Магнитные системы из сверхпроводников — М.: Наука, 1972. — 330 с.
2. Эмдландт В. Термические методы анализа: Пер. с англ. / Ред. В. А. Степанова и В. А. Берштейн — М.: Мир, 1978. — 517 с.
3. Холодный С. Л. Электрические и физико-механические свойства эмалированных проводов. — Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника, 1980, вып. 1 (179), с. 9—10.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI, № 4, 1987

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. Г. КОБЗЕВ, О. В. ДУБРОВСКИЙ, А. Г. КОБЗЕВ, Л. А. МАНУКЯН

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МНОЖЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ГРАФОВ

В связи с постоянным обновлением электротехнических и радиоэлектронных устройств и ужесточением предъявляемых к ним требований особое место среди задач, возлагаемых на системы автоматизации проектирования и испытаний, занимает задача обеспечения высокого качества и надежности разрабатываемых устройств. Высокие эксплуатационные показатели изделий обеспечиваются прежде всего полнотой их контроля и испытаний на всех стадиях производства.

Для автоматизации процессов организации и проведения испытаний необходима соответствующая формализация возникающих задач [1]. Большое разнообразие и высокая сложность современных методов

испытаний требуют решения задачи формирования рациональной совокупности испытательных режимов с учетом специфики каждого из них.

Пусть $V_z = \{v_{zi} | i = \overline{1, l}\}$ — множество возможных неисправностей изделий, $V_1 = \{v_{1j} | j = \overline{1, m}\}$ — множество существующих испытательных режимов (тестов). Каждый тест v_{1j} позволяет обнаружить определенное количество неисправностей (дефектов) испытываемых изделий — подмножество v_{zj} , такое, что

$$\bigcup_{j=1}^m v_{zj} = V_z \text{ и } |v_{zj}| > 0, j = \overline{1, m}.$$

Множество тестов V_1 гарантирует обнаружение всех изделий с дефектами любого из V_z видов. Так как одни и те же неисправности могут быть обнаружены различными тестами, проводить все режимы испытаний нет необходимости, поэтому интерес вызывает задача поиска подмножества режимов $V_1^* \subseteq V_1$, обеспечивающего выявление всего множества видов неисправностей и выполнение некоторых дополнительных условий.

Для испытательных режимов, приводящих к некоторому ухудшению показателей работоспособности изделий, определяющим является ограничение на число повторных попыток обнаружить один и тот же дефект. Это объясняется тем, что повторные и даже различные воздействия, приводящие к обнаружению одинаковой неисправности, могут существенно снизить работоспособность исправных изделий, что нежелательно.

Наиболее естественной моделью описанной выше связи между тестами и неисправностями является двудольный орграф $G = (V_1, UV_z, E)$, где V_1 и V_z — множества тестов и неисправностей. При этом граф G обладает свойством

$$\langle a, b \rangle \in E \Rightarrow a \in V_1 \text{ и } b \in V_z,$$

т. е. элементы из V_z (как и из V_1) попарно не смежны. Кроме того,

$$\max(|V_1|, |V_z|) \leq |E| \leq |V_1| \cdot |V_z|. \quad (1)$$

Задача отыскания некоторой системы тестов и графовой интерпретации выглядит как задача выделения некоторого подмножества $V_1^* \subseteq V_1$. Стремление получить по возможности более дешевую систему тестов формально означает предъявление некоторого требования к решению V_1^* , например:

$$\sum_{v_{1j} \in V_1^*} f(v_{1j}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $f: V_1 \rightarrow R$ — функция веса, определенная на множестве тестов (R — множество вещественных чисел). В таком виде моделью исход-



ной задачи является задача отыскания минимального порождающего множества V_T орграфа $G = (V_T \cup V_E, E)$, удовлетворяющего условию типа (2).

От функции веса f , заданной на множестве тестов V_T , нетрудно перейти к некоторой функции веса $g: E \rightarrow R$, заданной на множестве дуг орграфа G , так, что функция g будет допускать обратный переход к f . Таким образом, условие (2) примет вид

$$\sum_{v_T \in V_T} \sum_{v_E \in F(v_T)} g(<v_T, v_E>) \rightarrow \min_{V_T \subseteq V_T} \quad (3)$$

где $F(v_T) \subseteq V_E$ — множество вершин, достижимых из v_T .

Утверждение. Сформулированная выше задача отыскания минимального порождающего множества V_T двудольного орграфа G , удовлетворяющего условию типа (2) или (3), является NP — трудной.

Доказательство. Пусть $G_1 = (V_1, E_1)$ — неориентированный граф. Тогда построим ориентированный двудольный граф $G_2 = (V_2, E_2)$ такой, что $V_2 = V_1' \cup V_1''$, $V_1' \cap V_1'' = \emptyset$ и существуют биективные отображения $\varphi_1: V_1 \rightarrow V_1'$ и $\varphi_2: E_1 \rightarrow V_1''$. Кроме того,

$$E_2 = \{<v_1, v_2> | \exists (a \in V_1) \exists (e \in E_1) e = (a, b) \& \varphi_1(a) = v_1 \& \varphi_2(e) = v_2\}.$$

Для полученного орграфа G_2 известная задача о вершинном покрытии [2] будет заключаться в определении, имеется ли в G_2 порождающее множество $V_2^* \subseteq V_2$ мощности ϵ . Очевидно, что данная задача является частным случаем рассматриваемой задачи о тестах и неисправностях. Поскольку задача о вершинном покрытии NP — полная, то NP — полной является и та, к которой она сводится.

Доказанное выше утверждение означает, что поиск оптимального алгоритма равносильен поиску доказательства эквивалентности классов P и NP , что проблематично [3]. Поэтому стремление получить эффективный алгоритм приводит к уточнению структурных свойств исходной прикладной задачи и разработке эвристик, удовлетворительно работающих на графах с заданными структурными свойствами относительно критерия «качество решения — стоимость». С этой целью привлечем понятие плотности графа, введенное в [1]. В данном случае плотность графа запишем в виде:

$$\omega = |E| / (|V_T| \cdot |V_E|). \quad (4)$$

Разобьем класс Γ двудольных орграфов вида $G = (V_T \cup V_E, E)$ на подклассы $\Gamma(\omega)$ по значению плотности ω . Отметим, что согласно (1) и (4):

$$\min \left(\frac{1}{|V_T|} : \frac{1}{|V_E|} \right) \leq \omega \leq 1.$$

Для решения поставленной задачи предлагается класс алгоритмов, объединенных общей схемой, приводимой ниже.

1. Для всех элементов $v_T \in V_T$ вычислить значение $k(v_T)$ критерия выбора.

2. Включить во множество V_T^* элемент v_T^* , имеющий экстремальное значение критерия выбора.

3. Исключить из G элемент v_T^* , все смежные с ним вершины и входящие в них дуги.

4. Удалить все элементы из V_T , имеющие нулевую степень исхода.

5. Если модифицированный выше граф G не пуст, вернуться на п. 1, в противном случае завершить работу.

Исследования показывают, что для реальных задач плотность обрабатываемых графов значительно меньше единицы. Кроме того, при малых плотностях графов оказывается, что отклонение плотности подграфов исходного графа от среднего значения плотности не выводит их (подграфы) из заданного подкласса $\Gamma(\omega)$.

Отметим также, что ряд критериев выбора, таких как

$$k_1(v_T) = \sum_{v_g \in F(v_T)} \gamma(v_g), \quad (5)$$

где $\gamma(v_g)$ — степень захода в $v_g \in V_g$ и

$$k_2(v_T) = \sum_{v_g \in F(v_T)} \gamma(v_g) - \theta(v_T),$$

где $\theta(v_T)$ — степень исхода из $v_T \in V_T$, хорошо работают при малых значениях ω (порядка 0,05) и значительно ухудшают свое поведение при приближении к 0,1—0,3. Это позволяет вычислить размеры окрестности получаемых решений при заданном значении ω и некотором виде критерия выбора $k(v_T)$. Сложность алгоритмов, реализуемых в рамках описанной схемы, при малых значениях ω практически линейно зависит от величины $|E|$.

Группа алгоритмов описанного выше типа реализована в системе автоматизации процессов обработки данных СИИТА [4]. Проведенные авторами эксперименты подтверждают приведенные ранее соображения относительно качества и трудоемкости предложенных алгоритмов, а также возможность их использования для формирования множества режимов испытаний рассматриваемых изделий.

**ԳՐԱՅՆՆԵՐԻ ՏՆՍՈՒԹՅԱՆ ՆՂԱՆԱԿՆԵՐՈՎ ՓՈՐՁԱՐԿՄԱՆ ԻՆՓԻՄՆԵՐԻ
ԻԱՋՄՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԱՍԻՆ**

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

էլեկտրատեխնիկական և ուղիղէլեկտրոնային արդյունաբերության սարքերի արտադրական փորձարկումների պրակտիկայում հաճախ առաջանում է փորձարկման ուժիմների տեսակների որոշակի համախմբի ընտրության անհրաժեշտություն: Որոշակի մակարդակի ապահովման և հուսալիության գնահատման համար գրաֆիկների տեսության հիման վրա դիտարկված¹ և սարքերի փորձարկման ուժիմների նպատակահարմար համախմբի ձևավորման խնդիրը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзев В. Г., Лукьянов Ю. П., Павленко Л. А. Модели и алгоритмы исследования и построения эффективной процедуры испытаний электронной техники.— В кн.: Материалы Всесоюзной школы «Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами».— Харьков, 1984, с. 10.
2. Рейнгольд Э., Нивергедегт Ю., Цел Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика.— М.: Мир, 1980.— 476 с.
3. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи.— М.: Мир, 1982.— 416 с.
4. Ченцов В. Ф., Дубровский О. В. Разработка теоретико-графовых задач средствами языка СИНТА.— В кн.: Гез. докл. III Всесоюз. совещ. «Методы и программы решения оптимизационных задач на графах и сетях» 28—30 августа 1981 г. Ташкент.— Новосибирск, ВЦ СОАН СССР, 1981, с. 239—241.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН). т. XL, № 4, 1987

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

С. И. ПАПОЯН

**ТЕОРИЯ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ**

Для измерения малых линейных перемещений широко используются индуктивные датчики, точность которых из-за нелинейности функции преобразования (ФП) и влияния возмущающих воздействий невелика.

Один из путей повышения точности измерений состоит в использовании принципа многоканальности [1]. Из числа способов реализации принципа выделен вариант, в котором измеряемая величина действует на один канал, а возмущающее воздействие — на оба. Над сигналами с выходов каналов производятся определенные математические операции, устраняющие зависимость выходного параметра от возмущающего

**ԳՐԱՅՆՆԵՐԻ ՏՆՍՈՒԹՅԱՆ ՆՂԱՆԱԿՆԵՐՈՎ ՓՈՐՁԱՐԿՄԱՆ ԻՆՓԻՄՆԵՐԻ
ԻԱՋՄՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԱՍԻՆ**

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Էլեկտրատեխնիկական և ուղիղ էլեկտրոնային արդյունաբերության սարքերի արտադրական փորձարկումների պրակտիկայում հաճախ առաջանում է փորձարկման ուժիմների տեսակների որոշակի համախմբի ընտրության անհրաժեշտություն: Որոշակի մակարդակի ապահովման և հուսալիության գնահատման համար գրաֆիկների տեսության հիման վրա դիտարկված¹ և սարքերի փորձարկման ուժիմների նպատակահարմար համախմբի ձևավորման խնդիրը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзев В. Г., Лукьянов Ю. П., Павленко Л. А. Модели и алгоритмы исследования и построения эффективной процедуры испытаний электронной техники.— В кн.: Материалы Всесоюзной школы «Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами».— Харьков, 1984, с. 10.
2. Рейнгольд Э., Нивергедегт Ю., Цел Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика.— М.: Мир, 1980.— 476 с.
3. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи.— М.: Мир, 1982.— 416 с.
4. Ченцов В. Ф., Дубровский О. В. Разработка теоретико-графовых задач средствами языка СИНТА.— В кн.: Гез. докл. III Всесоюз. совещ. «Методы и программы решения оптимизационных задач на графах и сетях» 28—30 августа 1981 г. Ташкент.— Новосибирск, ВЦ СОАН СССР, 1984, с. 239—241.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН). т. XL, № 4, 1987

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

С. П. ПАПОЯН

**ТЕОРИЯ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ**

Для измерения малых линейных перемещений широко используются индуктивные датчики, точность которых из-за нелинейности функции преобразования (ФП) и влияния возмущающих воздействий невелика.

Один из путей повышения точности измерений состоит в использовании принципа многоканальности [1]. Из числа способов реализации принципа выделен вариант, в котором измеряемая величина действует на один канал, а возмущающее воздействие — на оба. Над сигналами с выходов каналов производятся определенные математические операции, устраняющие зависимость выходного параметра от возмущающего

воздействия. Таким образом, создаются предпосылки разработки устройства, инвариантных к основным возмущающим воздействиям и, следовательно, обладающих повышенной точностью.

Указанный принцип применен при разработке системы для точного измерения перемещений с индуктивными датчиками. Структурная схема измерительной системы приведена на рисунке 1, где обмотки 1 и 2 образуют основной дифференциальный датчик с подвижным сердечником, а обмотки 3 и 4—вспомогательный дифференциальный датчик, сердечник которого зафиксирован. Коммутатор 5 поочередно подключает обмотки датчиков на вход измерительного преобразования (ИП) 6, который преобразует индуктивность подключенной обмотки в какой-либо параметр y электрического сигнала (например, в частоту). Код n с выхода аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 7 поступает в вычислительное устройство (ВУ) 8.

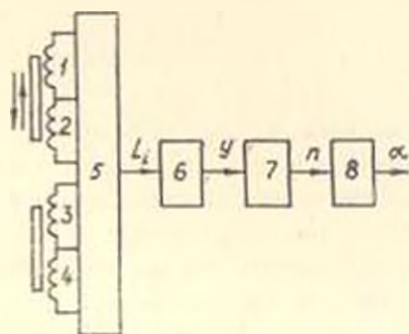


Рис. Структурная схема измерительной системы.

Предположим, что ФП перемещения сердечника в величину индуктивности любой обмотки описываются алгебраическим полиномом второго порядка, а обмотки 1 и 2, 3 и 4 попарно идентичны. Тогда для индуктивностей всех обмоток можно записать:

$$\begin{aligned} L_1 &= a_0 + a_1(x_0 + x) + a_2(x_0 + x)^2; \\ L_2 &= a_0 + a_1(x_0 - x) + a_2(x_0 - x)^2; \\ L_3 &= b_0 + b_1(x_0 + x_c) + b_2(x_0 + x_c)^2; \\ L_4 &= b_0 + b_1(x_0 - x_c) + b_2(x_0 - x_c)^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где x — нейтральное положение сердечника, при котором индуктивности обеих обмоток дифференциального датчика равны; x — измеряемое перемещение, отсчитываемое относительно нейтрального положения сердечника; x_c — постоянное смещение сердечника вспомогательного датчика относительно нейтрали; a_i , b_i — параметры ФП основного и вспомогательного датчиков.

Пусть ИП имеет линейную ФП. Пренебрегая погрешностью квантования АЦП, будем считать, что его ФП также линейна. Тогда для кода на выходе АЦП будем иметь:

$$n_i = C_0 + G_i L_i, \quad (2)$$

где L_i — индуктивность i -ой обмотки; C_0 , G_i — параметры общей ФП, ИП и АЦП.

В вычислительном устройстве 9 вычисляем величину

$$\alpha = \frac{n_1 - n_2}{n_3 - n_4}, \quad (3)$$

тогда, учитывая (1) и (2), получаем:

$$\alpha = \frac{a_1 + 2a_2x_0}{b_1 + 2b_2x_0} \cdot \frac{x}{x_c} = \frac{a}{b} \cdot \frac{x}{x_c} = Kx, \quad (3)$$

где

$$a = a_1 + 2a_2x_0; \quad b = b_1 + 2b_2x_0; \quad K = \frac{a}{b}.$$

Величина α пропорциональна измеряемому перемещению x , причем коэффициент K не зависит от параметров ИП и АЦП. Кроме того, α не зависит от аддитивных смещений a_1 и b_1 характеристик обоих дифференциальных датчиков.

Очевидно, что при идентичности основного и вспомогательного датчиков, т. е. при $a = b$

$$\alpha = \frac{x}{x_c} \quad (4)$$

и в этом идеальном случае достигается абсолютная инвариантность к любым изменениям параметров датчиков и измерительного канала в целом.

Рассмотрим погрешность, обусловленную неточностью используемой модели ФП. В общем случае (1) должен рассматриваться как приближенное аналитическое выражение для реальной ФП. Причем, при построении (1) располагаем либо тремя значениями индуктивностей и соответствующих им перемещений (узлов интерполяции), либо по результатам экспериментов определяли наибольшие вероятные значения коэффициентов a_i и b_i . В обоих случаях разность реальной ФП $F(x)$ и принятой

$$F(x) - L_1 = R_1(x) \quad (5)$$

будет отлична от нуля и представит погрешность.

Аналитические выражения для $R_1(x)$ обычно неизвестны. Поэтому для оценки погрешности приходится повысить степень ФП. Пусть приближающий полином найден с помощью ортогональных многочленов Чебышева, тогда относительная погрешность от неточности используемой ФП будет:

$$\xi_1 = \frac{bn - am + n_3bx^2 - m_3ax_c^2}{a(b + m + m_3x_c^2)}, \quad (6)$$

где

$$n = n_1 + 2n_2x_0 + 2n_3x_0^2, \quad m = m_1 + 2m_2x_0 + 2m_3x_0^2;$$

n_i, m_i — соответственно коэффициенты приближающих многочленов третьей степени ФП основного и вспомогательного датчиков.

Приняв, что датчики идентичны, т. е. $n = m$; $n_2 = m_2$ и $a = b$, получим

$$\delta_2 = \frac{n_2(x^2 - x_c^2)}{b + n + n_2 x_c^2}. \quad (7)$$

Источником погрешности является также неидентичность двух половин обоих датчиков, что приводит к различию между коэффициентами полиномов (1). Эта составляющая погрешности равна:

$$\delta_3 = 0,5 \left(\frac{a_1 \gamma_1 + 2a_2 x_0 \gamma_2}{a} - \frac{b_1 \beta_1 + 2b_2 x_0 \beta_2}{b} + \frac{a_1 \gamma_1 x}{a} - \frac{b_1 \beta_1 x}{b} \right), \quad (8)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \beta_1$ и β_2 — относительные погрешности коэффициентов ФП основного и вспомогательного датчиков.

Величина возмущающих воздействий проявляется в изменениях параметров ФП обоих датчиков. Пользуясь методикой, изложенной в [2], и обозначив относительные погрешности коэффициентов ФП через ϵ_i и ρ_i , для относительной погрешности от влияющих факторов будем иметь:

$$\delta_4 = -\frac{a_1 \epsilon_1 + 2a_2 x_0 \epsilon_2}{a} - \frac{b_1 \rho_1 + 2x_0 b_2 \rho_2}{b}. \quad (9)$$

Для индуктивных датчиков наиболее существенный влияющий фактор — это температура. Если сердечники изготовлены из одинакового материала, то изменение температуры приводит к одинаковому изменению их магнитной проницаемости, а следовательно, к одинаковому относительному изменению параметров полинома ($\epsilon_1 = \epsilon_2 = \rho_1 = \rho_2, \delta_4 = 0$). Можно сказать, что радикальным средством уменьшения погрешностей от влияющих факторов является увеличение относительной чувствительности преобразователя к измеряемой величине, а для этого необходимо максимально использовать длину воздушного зазора. В данном случае ФП дается полиномом второго порядка, т. е. нелинейный участок также может быть использован. В этом и заключается отличительная особенность используемого принципа.

В заключение отметим, что необходимо также проанализировать случайную погрешность, т. е. трансформацию дисперсии отдельных измерений в случайную погрешность вычисленного значения перемещения с учетом используемого алгоритма.

Лен. фил.

ЕрПИ им. К. Маркса

10. XII. 1985

ՏՆՂԱՇԱՐԺՆԵՐԻ ԴԻՇՏ ՉԱՓՄԱՆ ՆՐԿԿԱՊՈՒՂԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՏԵԽՆԻԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Դիտվում է Երկկապուղի չափիչ համակարգի տեսությունը, կիրառված ինդուկտիվ տվիչների նկատմամբ, որոնց ձևափոխման ֆունկցիան ներկայացված է Երկրորդ կարգի բազմանդամով: Բերված է տվիչների և չափիչ կապուղու պարամետրերի փոփոխությունների նկատմամբ անկախություն ապահովող ալգորիթմ: Հաշված են սխալները և նշված են նրանց փոքրացման եղանակները:

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Б. Н. и др. Принцип инвариантности в измерительной технике.— М.: Наука, 1976.— 251 с.
2. Рабинович С. Г. Погрешности измерений.— М.: Энергия, 1978.— 262 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. В. КАСЬЯН, А. М. АРЗУМАНЯН

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОЙ
ФОРМЫ СТРУЖКИ И УСЛОВИЙ ЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Вопросы стружкообразования стружки малых сечений требует дальнейшего изучения. Чтобы оценить этот процесс при тонком фрезеровании цветных металлов были проведены серии экспериментов по обработке латуни ЛС59-1 и дуралюминии Д16.

В [1] сделана попытка считать рациональной формой стружки по полной объемной деформации ту форму, при которой:

$$C_{\epsilon_1} = 6,31 \cdot 10^3, \quad \delta_v = 2,47 \text{ при обработке Д16 и}$$

$$C_{\epsilon_1} = 7,69 \cdot 10^3, \quad \delta_v = 1,21 \text{ при обработке ЛС59-1,}$$

где C_{ϵ_1} — скорость деформации сдвига; δ_v — объемная деформация.

Однако это не всегда возможно осуществлять ввиду больших затруднений в расчетах. Исходя из этого, попытаемся качественно оценить образование рациональной формы стружки ускоренным методом.

Эксперименты проводились на станке Heskert мод. FSS 315-V. Материалом режущей части является синтетический корунд (лейкосапфир и рубин «Роза») размерами $7 \times 7 \times 21$ мм³. Оптимальные геометрические параметры режущей части пластины: $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = -6^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$;

ՏՆՂԱՇԱՐԺՆԵՐԻ ԴԻՇՏ ՉԱՓՄԱՆ ՆՐԿԿԱՊՈՒՂԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՏԵԽՆԻԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Դիտվում է Երկկապուղի չափիչ համակարգի տեսությունը, կիրառված ինդուկտիվ տվիչների նկատմամբ, որոնց ձևափոխման ֆունկցիան ներկայացված է Երկրորդ կարգի բազմանդամով: Բերված է տվիչների և չափիչ կապուղու պարամետրերի փոփոխությունների նկատմամբ անկախություն ապահովող ալգորիթմ: Հաշված են սխալները և նշված են նրանց փոքրացման եղանակները:

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Б. Н. и др. Принцип инвариантности в измерительной технике.— М.: Наука, 1976.— 251 с.
2. Рабинович С. Г. Погрешности измерений.— М.: Энергия, 1978.— 262 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. В. КАСЬЯН, А. М. АРЗУМАНЯН

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОЙ
ФОРМЫ СТРУЖКИ И УСЛОВИЙ ЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Вопросы стружкообразования стружки малых сечений требует дальнейшего изучения. Чтобы оценить этот процесс при тонком фрезеровании цветных металлов были проведены серии экспериментов по обработке латуни ЛС59-1 и дуралюминии Д16.

В [1] сделана попытка считать рациональной формой стружки по полной объемной деформации ту форму, при которой:

$$C_{\epsilon_1} = 6,31 \cdot 10^3, \quad \delta_v = 2,47 \text{ при обработке Д16 и}$$

$$C_{\epsilon_1} = 7,69 \cdot 10^3, \quad \delta_v = 1,21 \text{ при обработке ЛС59-1,}$$

где C_{ϵ_1} — скорость деформации сдвига; δ_v — объемная деформация.

Однако это не всегда возможно осуществлять ввиду больших затруднений в расчетах. Исходя из этого, попытаемся качественно оценить образование рациональной формы стружки ускоренным методом.

Эксперименты проводились на станке Heskert мод. FSS 315-V. Материалом режущей части является синтетический корунд (лейкосапфир и рубин «Роза») размерами $7 \times 7 \times 21$ мм³. Оптимальные геометрические параметры режущей части пластины: $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = -6^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$;

$\lambda = 6^\circ$; $r = 0,3 - 0,5$ мм [2]. Ориентация режущей части пластины производилась по [3].

На основе базисной таблицы проводятся факторные эксперименты типа 3^3 для двух материалов с использованием режущего инструмента из синтетического корунда. В качестве объекта исследования принимается диаметр завитка стружки D и ее полная объемная деформация δ_v (табл. 1).

Таблица 1

эксп- перимента	v , м/мин	s , мм/зуб	t , мм	δ_v		D , мм	
				ЛС59-1	Д16	ЛС59-1	Д16
				Рубин "Роза"			
1	88	0,007	0,2	2,55	3,22	0,55	0,74
2	250	0,007	0,02	2,5	3,77	1,91	2,64
3	703	0,007	0,063	2,45	3,22	1,6	2,21
4	88	0,022	0,02	2,33	3,43	0,55	1,27
5	250	0,022	0,063	1,83	2,4	0,89	0,72
6	703	0,022	0,2	1,76	2,1	0,52	0,61
7	88	0,07	0,063	1,64	2,01	0,53	0,48
8	250	0,07	0,2	1,28	1,56	0,53	0,41
9	703	0,07	0,02	1,27	1,17	0,94	1,27

Применяя условия Гауса для линейных операторов с программированием на ЭВМ, получаем уравнения:
для латуни ЛС59-1 —

$$D = 3,0 v^{0,2} s^{0,8} t^{0,25}, \quad (1)$$

$$\delta_v = 1,22 v^{-0,08} s^{-0,18} t^{-0,05}, \quad (2)$$

для дуралюминия Д16 —

$$D = 11,2 v^{0,25} s^{0,6} t^{0,35}, \quad (1)$$

$$\delta_v = 1,57 v^{-0,1} s^{-0,22} t^{-0,05}, \quad (2)$$

Для достоверности результатов исследований проведена проверка гипотезы по дисперсионному анализу согласно [4]. Анализ показал, что полученная математическая модель адекватна. Проверка гипотезы показывает, что на диаметр завитка стружки больше влияет подача. Задача исследования заключается не только в установлении вышеприведенных зависимостей, но и в определении тех сочетаний параметров режимов резания, при которых получается оптимальная форма стружки и оптимальный диаметр завитка.

Определение рациональной формы стружки можно производить разными методами. В работе предлагается простой способ определения обобщенного отклика или параметра оптимизации. Предлагается вести

простейшие преобразования, то есть вместо набора данных для каждого параметра (v, s, t) поставить простой стандартный аналог — шкалу, на который имеются два значения: «0» — неудовлетворительное качество, «1» — удовлетворительное качество. В ситуации, когда каждый преобразованный частный отклик принимает только два значения («0», «1»), естественно желать, чтобы и обобщенный отклик принимал одно из этих двух возможных значений, причем так, чтобы значение «1» имело место только в том случае, когда все отклики в этом опыте приняли бы значения «1». А если хотя бы один из откликов обратился в «0», то и обобщенный отклик был бы «0». Исходя из этого, для каждого отклика ведем следующие преобразования:

ЛС59-1		Д16	
1, если $v < 250$ м/мин,		— $v < 250$ м/мин,	
0, „ $v > 250$ м/мин,		— $v > 250$ м/мин,	
1, „ $s < 0,022$ мм/зуб,		— $s < 0,022$ мм/зуб,	
0, „ $s > 0,022$ мм/зуб,		— $s > 0,022$ мм/зуб,	
1, „ $t < 0,063$ мм,		— $t > 0,063$ мм,	
0, „ $t > 0,063$ мм,		— $t < 0,063$ мм,	

Натуральные преобразования и обобщенные отклики приводятся в табл. 2, откуда следует, что имеются три сочетания v, s, t , при которых обобщенный отклик принимает удовлетворительное качество. Сопоставляя эти значения с оптимальными значениями v, s, t [4], можно принять следующие оптимальные сочетания v, s, t , которые обеспечивают получение рациональной формы стружки:

для Д16 — $v = 260$ м/мин; $s = 0,008$ мм/зуб; $t = 0,11$ мм;

для ЛС59-1 — $v = 250$ м/мин; $s = 0,007$ мм/зуб; $t = 0,05$ мм.

Таблица 2

№ эксп- римента	Натуральные частные отклики			Преобразование частных откликов						Обобщенные отклики для	
	v , м/мин	s , мм/зуб	t , мм	для ЛС59-1			для Д16			ЛС59-1	Д16
				v_1	s_1	t_1	v_1	s_1	t_1		
1	88	0,007	0,2	1	1	0	1	1	1	0	1—удовл.
2	250	0,007	0,02	1	1	1	1	1	0	1—удовл.	0
3	703	0,007	0,063	0	1	1	0	1	1	0	0
4	88	0,022	0,020	1	1	1	1	1	1	1—удовл.	1—удовл.
5	250	0,022	0,063	1	1	1	1	1	1	1—удовл.	1—удовл.
6	703	0,022	0,02	0	1	0	0	1	1	0	0
7	88	0,07	0,063	1	0	1	1	0	1	0	0
8	250	0,07	0,02	1	0	0	1	0	1	0	0
9	703	0,07	0,20	0	0	1	0	0	0	0	0

Полученная при этих режимах резания форма стружки может считаться рациональной, где для Д16 $D = 1,14$ мм, $\delta_a = 2,47$ и для ЛС59-1 $D = 0,59$ мм, $\delta_a = 1,21$.

После определения оптимальных значений D и δ_a , можно связать уравнения (1) и (2) друг с другом:

$$\delta_a = 1,88 D^{-0,1} \text{ для латуни ЛС59-1;} \quad (3)$$

$$\delta_a = 2,95 D^{-0,1} \text{ для дуралюминия Д16.} \quad (4)$$

Лен. фил. ЕрIII
им. К. Маркса

20. III. 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. Касьян М. В., Багдасарян Г. Б., Арзуманян А. М. Объемная деформация стружки как показатель обрабатываемости.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1977, т. XXX, № 5, с. 5—11.
2. Арзуманян А. М. Рубиновые фрезы для обработки цветных металлов.— Промышленность Армении, 1976, № 7, с. 69—70.
3. А. с. № 1183303 (СССР). Режущая пластинка из синтетического корунда / Арзуманян А. М.— Опубл. в БИ 1985, № 35.
4. Касьян М. В., Багдасарян Г. Б., Артюнян Г. А. Оптимизация режимов резания при решении технологических задач.— Ереван: Айластан, 1981—184 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. О. МКРТЧЯН, А. М. АВЕТИСЯН, В. В. ТАТЕВОСЯН

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗИСТОРНЫХ МИКРОСХЕМ НА ОСНОВЕ ТАНТАЛА

Старение тонкопленочных прецизионных резисторов (ТПР) и резисторных микросхем представляет собой довольно сложный кинетический процесс и зависит от свойства резистивного материала. Стабильность ТПР оценивается, в основном, температурно-временной закономерностью изменения сопротивления при наличии на резисторах электрической нагрузки. Поскольку основным механизмом старения танталовых сплавов является диффузия кислорода, то с повышением температуры увеличивается скорость химических реакций [1, 2].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования процессов старения и прогнозирования надежности резисторных микросхем на основе сплавов тантала с алюминием и титаном. Для сравнительного анализа в качестве эталонных образцов при тех же технологических режимах получены пленки на основе нитрида тантала.

Распыление резистивного слоя осуществляется в атмосфере чистого аргона и смеси аргона с азотом при соотношении 50:2 из составных мишеней тантала-алюминия ($Ta-Al$). Толщина резистивных пленок всех типов была одинакова — 100 нм. На основе каждой резистивной пленки были изготовлены 24 резисторные матрицы по 7 резисторов на каждой матрице.

С целью выявления особенностей старения прецизионных резисторов были исследованы процессы термического окисления сплавов на основе тантала. Экспериментально установлено, что отжиг в вакууме или инертной среде мало изменяет сопротивление танталовых сплавов. Это дает основание предполагать, что старение обусловлено взаимодействием пленки с атмосферой.

На рис. 1 показано относительное изменение сопротивления от времени термоотжига. Для танталовых сплавов с повышением температуры отжига увеличивается скорость химических реакций.

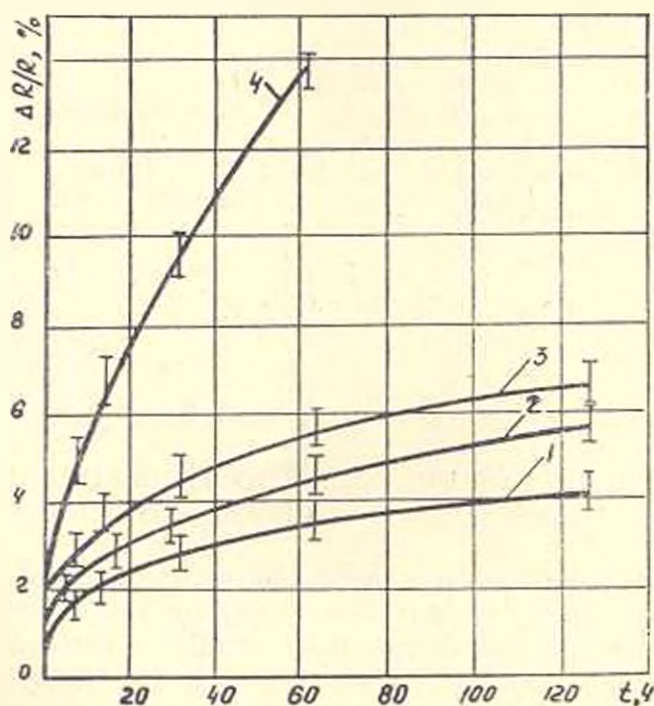


Рис. 1. Стабильность тонкопленочных резисторов на основе сплавов тантала в условиях хранения при $T = 250^\circ\text{C}$: 1 — $(Ta-Al)N$; 2 — $Ta-Al$; 3 — $Ta-N$; 4 — $Ta-Ti$.

С целью прогнозирования надежности полученных резистивных пленок была изучена кинетика основных деградационных процессов с использованием зависимостей относительного изменения сопротивления от времени. Было обнаружено, что механизм старения отмеченных материалов имеет термическую природу, что позволяет пользоваться уравнением Аррениуса

$$(\Delta R/R)^* = A [\exp(-Ea/KT)] t, \quad (1)$$

где A — частотный фактор; Ea — энергия активации; K — постоянная Больцмана; T — температура; n — показатель степени (определяется типом процесса); t — время.

Для определения констант процессов аналогичные эксперименты проводились также при температурах 100, 150 и 200°С. Сопоставление экспериментальных зависимостей $\Delta R/R$ от времени с аналитическим выражением позволяет определить значение произведения $A \exp(-Ea/KT)$ для различных температур. Угол наклона кривой $\ln[A \exp(-Ea/KT)]$ от обратной температуры определяет значение энергии активации материала (рис. 2).

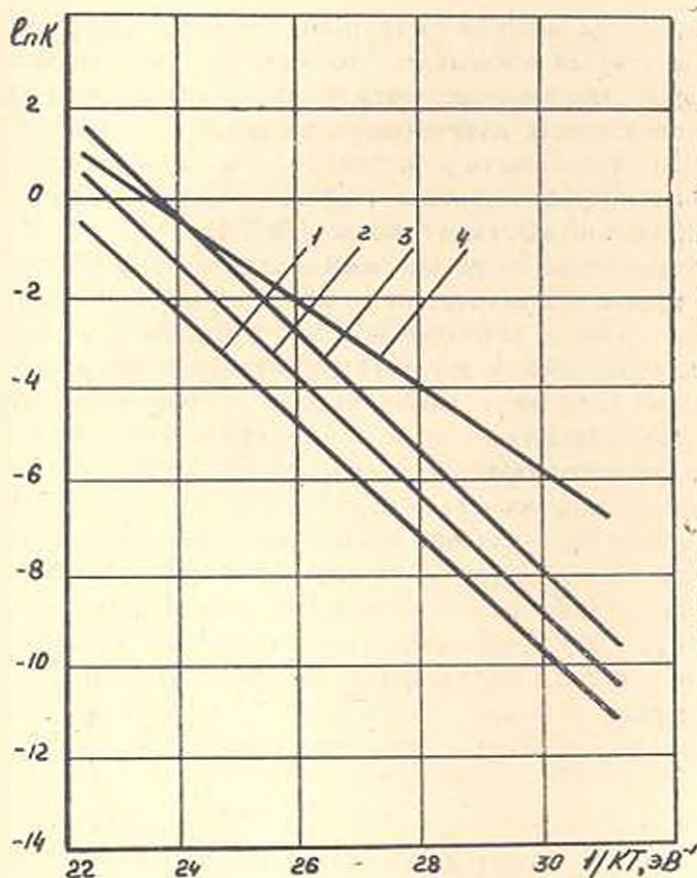


Рис. 2. Линии Аррениуса для сплавов тантала: 1 — $(Ta - Al)N$; 2 — $Ta - Al$; 3 — TaN ; 4 — $Ta - Ti$.

Экспериментальные данные по исследованию процессов старения резистивных пленок были обработаны на ЭВМ ЕС 1022 по уравнению Аррениуса. В таблице приведены экспериментальные значения относительных изменений сопротивлений в процессе термоотжига, а также численные значения параметров n , A , Ea при длительном хранении при температуре 250°С.

Материал	n	$A \cdot 10^{12}, c^{-1}$	$E_a, Эв$	$\Delta R/R$ в зависимости от времени хранения			
				0,5 года	1 год	5 лет	10 лет
(Ta—Al)N	3	0,294	1,21	13,89	17,5	29,9	37,68
Ta—Al	3	2,93	1,259	20,67	26,04	44,49	56,05
TaN	3	8,06	1,26	29,16	36,73	62,77	79,06
Ta—Ti	2	0,00032	0,84	101,8	148,2	331,4	468,7

Исследование долговечности тонкопленочных резисторов на основе сплавов тантала показывает, что вероятным механизмом их старения является диффузия кислорода. Свидетельством этого является кубическая зависимость изменения сопротивления от времени.

Высокая стабильность резистивного слоя *Ta—Al* и его нитридов по сравнению с нитридом тантала (табл.), по-видимому, связано с хорошими защитными свойствами оксидов *Ta—Al*.

Механизм роста оксидных слоев, предложенный Кабрером и Моттом [3], предполагает наличие на поверхности металла пленки, образовавшейся в процессе хемосорбции, в которой ионы и электроны движутся независимо друг от друга. По этой теории электроны металла через защитный слой могут проходить либо в результате термолонной эмиссии, либо вследствие туннельного эффекта. Таким путем внутри защитного слоя формируется значительное электрическое поле, благодаря которому ионы проникают через пленку.

Для обоснования влияния параметров оксидного слоя на стабильность резистивного материала представим энергию, необходимую для перехода электрона из металла в зону проводимости оксида, в виде $\Phi = \Phi_0 + E_g$, где Φ_0 — энергия, необходимая для выхода электронов из металла в оксид, E_g — ширина запрещенной зоны. В зону проводимости попадают только те электроны, у которых $E_k > \Phi$. Концентрацию таких электронов можно представить в виде

$$n_s(x) = \frac{1}{N} \frac{W_1 + \Phi_0 + 2eV - 2E_g}{2kT} \quad (2)$$

Из этого выражения видно, что чем больше E_g оксидного слоя (при постоянстве всех остальных параметров), тем меньше концентрация электронов и, следовательно, образующееся поле на оксидной пленке. Под действием этого ослабленного поля меньше ионов металла притягивается к поверхности оксидного слоя, т. е. процесс дальнейшего старения затрудняется и увеличивается стабильность резистивного материала.

1. Миллер Ю. Г. Физические основы надежности интегральных схем — М.: Советское радио, 1976 — 320 с.
2. Кубашевский С., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1965. — 428 с.
3. Окисление металлов / Под редакцией Ж. Бенера. Пер. с франц. — М.: Металлургия, 1969. — 237 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. Е. АКОПЯН, Р. М. МИРЗАХАНИЯН, Г. Г. ХАЧАТРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОМОЛА ПЕРЛИТА

Одной из основных стадий в технологии переработки перлита с получением сырья для стекольной промышленности является стадия фильтрации готовой пульпы [1], которая следует после выщелачивания перлита в автоклаве (частичное растворение кремнезема в растворе щелочи) и поэтому непосредственно связана с работой автоклава [2] — с увеличением размеров частиц работа фильтров улучшается, а работа автоклава ухудшается.

Целью настоящего исследования является определение удельного сопротивления осадков перлита, необходимое для выявления оптимальных режимов технологической схемы.

Скорость фильтрования w , определяемая объемом фильтрата dV , проходящего через единицу поверхности S фильтра в течение времени dt , определяется по известной формуле [3]:

$$w = \frac{dV}{Sdt} = \frac{\Delta P}{\mu(R_0 + R_\phi)}, \quad (1)$$

где ΔP — перепад давления в процессе фильтрации; μ — вязкость жидкой фазы; R_0 , R_ϕ — сопротивления слоя осадка и фильтрующей перегородки.

При постоянных скорости и перепаде давления отношение $\left(\frac{dV}{dt}\right)$ можно заменить $\frac{V}{t}$, и тогда

$$\frac{V}{t} = \frac{S\Delta P}{\mu(R_0 + R_\phi)}, \quad (2)$$

Сопротивление слоя осадка R_0 можно выразить через удельное сопротивление r_0 и высоту осадка h_0 : $R_0 = r_0 h_0$, и тогда

$$\frac{V}{t} = \frac{S\Delta P}{\mu(r_0 h_0 + R_\phi)}. \quad (3)$$

1. Миллер Ю. Г. Физические основы надежности интегральных схем — М.: Советское радио, 1976 — 320 с.
2. Кубашевский С., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1965. — 428 с.
3. Окисление металлов / Под редакцией Ж. Бенера. Пер. с франц. — М.: Металлургия, 1969. — 237 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. Е. АКОПЯН, Р. М. МИРЗАХАНИЯН, Г. Г. ХАЧАТРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОМОЛА ПЕРЛИТА

Одной из основных стадий в технологии переработки перлита с получением сырья для стекольной промышленности является стадия фильтрации готовой пульпы [1], которая следует после выщелачивания перлита в автоклаве (частичное растворение кремнезема в растворе щелочи) и поэтому непосредственно связана с работой автоклава [2] — с увеличением размеров частиц работа фильтров улучшается, а работа автоклава ухудшается.

Целью настоящего исследования является определение удельного сопротивления осадков перлита, необходимое для выявления оптимальных режимов технологической схемы.

Скорость фильтрования w , определяемая объемом фильтрата dV , проходящего через единицу поверхности S фильтра в течение времени dt , определяется по известной формуле [3]:

$$w = \frac{dV}{Sdt} = \frac{\Delta P}{\mu (R_0 + R_\phi)} \quad (1)$$

где ΔP — перепад давления в процессе фильтрации; μ — вязкость жидкой фазы; R_0 , R_ϕ — сопротивления слоя осадка и фильтрующей перегородки.

При постоянных скорости и перепаде давления отношение $\left(\frac{dV}{dt}\right)$ можно заменить $\frac{V}{t}$, и тогда

$$\frac{V}{t} = \frac{S\Delta P}{\mu (R_0 + R_\phi)} \quad (2)$$

Сопротивление слоя осадка R_ϕ можно выразить через удельное сопротивление r_ϕ и высоту осадка h_ϕ : $R_\phi = r_\phi h_\phi$, и тогда

$$\frac{V}{t} = \frac{S\Delta P}{\mu (r_\phi h_\phi + R_0)} \quad (3)$$

Для определения r_0 и R_0 уравнение (3) преобразуется в уравнение прямой линии. Обозначив $M = \frac{r_0}{\Delta PS}$ и $N = \frac{\mu R_0}{\Delta PS}$, получим:

$$\frac{t}{V} = M h_0 + N. \quad (4)$$

Построив прямую зависимости $\frac{t}{V}$ от h_0 , графически определим значения M и N , по которым вычислим r_0 и R_0 . На рис. 1 показана одна прямая для перлита фракции (160—200) мкм. Графически найдены значения: $M = \operatorname{tg} \alpha = 10^7$, $N = 1,32 \cdot 10^5$ и соответственно вычислены: $r_0 = 1,14 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$ и $R_0 = 1,46 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$.

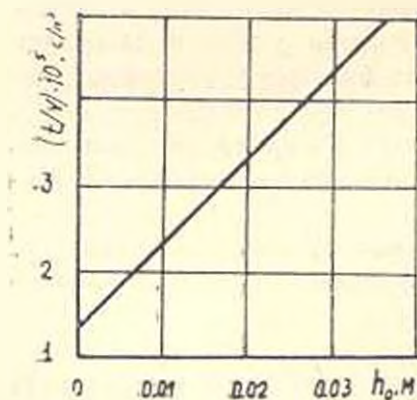


Рис. 1. К определению r_0 и R_0 сырого перлита фракции 160—200 мкм.

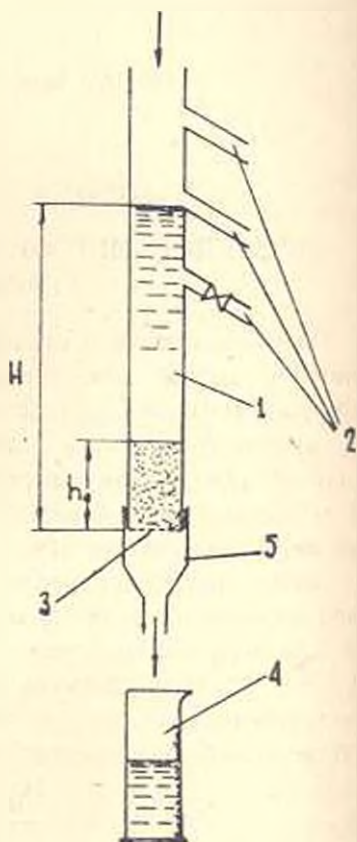


Рис. 2. Схема установки для определения сопротивления осадка.

Эксперименты проводились на установке, схема которой приведена на рис. 2. В колонку 1, снабженную снизу фильтрующей тканью 3, засыпался слой соответствующей фракции помола перлита высотой h_0 . Постоянный перепад давления во время фильтрации создавался постоянной высотой столба воды H , поддерживаемой с помощью отводов 2. Фильтрат собирался в стакане 4. Рыхлое состояние слоя создавалось подключением воды через воронку 5. Опыты проводились при постоянной температуре, измерялись объем фильтрата V и время фильтрования t . Проводились эксперименты с различными фракциями перлита как в рыхлом состоянии, так и в уплотненном. Испытывались также и полидисперсные смеси.

По описанной методике определялись сопротивления осадков, значения которых сведены в таблицу. Расчеты показали, что сопротивление фильтрующей перегородки ($R_{\phi} = 1,46 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$ для шелковой ткани) более чем в сто раз меньше сопротивления осадка.

Таблица

Значения удельного сопротивления фракций перлита в зависимости от эквивалентного диаметра каналов d_k

№	Фракция, мм	$d_{ср} \cdot 10^6, \text{ м}$	Сырой перлит				
			α	β	φ	$d_k \cdot 10^6, \text{ м}$	$r_0 \cdot 10^{-10}, \text{ м}^{-1}$
1	200—250	225	1,3	0,956	0,118	110,6	0,53
2	160—200	180	1,31	0,96	0,418	87,2	1,14
3	125—160	142	1,33	0,98	0,418	67,35	1,87
4	100—125	112	1,35	0,99	0,418	53,11	3,8
5	50—100	75	1,35	0,99	0,454	28,3	17,6
6	смесь 0—250	49	1,36	1	0,534	11,1	181

Найдена зависимость удельного сопротивления r_0 от параметров осадка (диаметр частиц, пористость слоя и форма частиц). Во всех ранее предложенных уравнениях имеются коэффициенты (как правило два и более), трудно поддающиеся определению. В данной работе предложена зависимость сопротивления осадка от эквивалентного диаметра каналов d_k , учитывая пористость, коэффициенты формы и средний диаметр частиц $d_{ср}$. Здесь важное значение имеет форма частиц, т. к. после автоклавной обработки частицы становятся пористыми, бесформенными (на их поверхности появляются новообразования) и меняются в размере.

Окончательно уравнение для определения эквивалентного диаметра каналов имеет следующий вид:

$$d_k = \frac{2}{3} \frac{1 - 2\varphi}{2\varphi} \cdot \frac{\beta}{\sqrt{\alpha}} d_{ср} \quad (5)$$

где φ — объемная доля частиц в слое; α и β — коэффициенты формы, которые определялись по методике, описанной в [1].

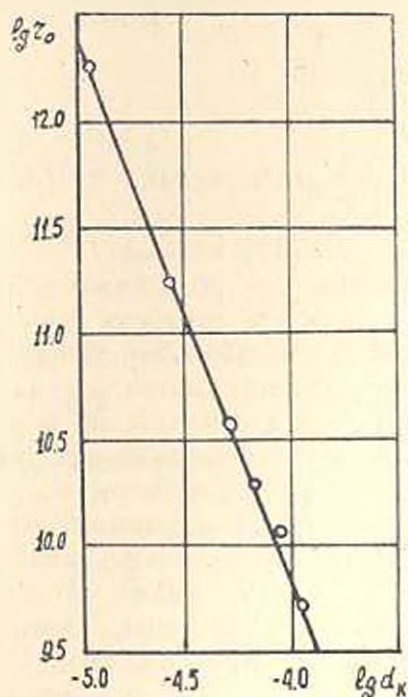


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления осадка от диаметра каналов.

Результаты расчетов сведены в таблицу.

На диаграмме, приведенной на рис. 3, зависимость $\lg r_0 - \lg d_k$ даст одну и ту же прямую линию для всех замеров. На основании диаграммы получена зависимость

$$r_0 = 0,3 d_k^{-2,35}. \quad (6)$$

ЕрПИ им. К. Маркса

25. IV. 1986

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелконян Г. С. Гидротермальный способ приготовления комплексного стекловатного сырья «Квазизит» на основе горных пород и продуктов их переработки.— Ереван: Айвастан, 1977.— 152 с.
2. Гаспарян А. М., Гаспарян А. А., Заминян А. А. «Спжоб» и аппарат по проведению процессов в потоке суспензии. А. с. 15786 от 23.05.56 г.
3. Жужиков В. А. Фильтрация — М.: Химия, 1971 — 210 с.
1. Гаспарян А. М.— Статика и динамика двухфазных систем (конспект лекций). ЕрПИИ. 1970.— 78 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 1, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. В. САРКИСЯН

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИФФУЗИЯ В ГРУНТАХ ЗОНЫ АЭРАЦИИ

Освоение засоленных земель требует огромных материальных и трудовых ресурсов. Отметим, что в Араратской равнине освоение 1 га таких земель обходится примерно в 10 тыс. руб. Поэтому после освоения, а начальный период эксплуатации, с целью поддержания достигнутого водно-солевого режима и исключения вторичного засоления земель полив сельскохозяйственных культур осуществляется «грузными» нормами, т. е. на поля подается на 20—30% больше воды, чем требуется для полива. Избыток воды опускается до уровня грунтовых вод и создается, так называемая, подушка пресных поливных вод, предохраняющая перенос солей из соленых грунтовых вод в вышележащие слои. Так как концентрация грунтовых вод больше, чем поливных, то под влиянием молекулярной диффузии происходит постепенное засоление подушки и опреснение грунтовых вод.

Допустим, что на поверхность подается поливная вода с концентрацией C_n . В процессе фильтрации через зону аэрации концентрация солей по глубине возрастает и достигает уровня грунтовых вод с концентрацией $C_g > C_n$. Предположим, что концентрация солей в грунтовой воде $C_g > C_n$, тогда над уровнем грунтовых вод образуется слой

воды l с концентрацией C_0 , отличающейся от концентрации грунтовых вод C_r . Задача сводится к решению системы уравнений диффузии [1, 2]:

$$D \frac{\partial^2 C_l}{\partial y^2} = n_0 \frac{\partial C_l}{\partial t}, \quad l = 1, 2 \quad (1)$$

при следующих граничных условиях:

$$\begin{aligned} C_1(y, 0) &= C_r; \quad C_2(y, 0) = C_0; \\ C_2(\infty, t) &= C_r; \quad C_1(0, t) = C_2(0, t); \\ \frac{\partial C_1(0, t)}{\partial y} &= \frac{\partial C_2(0, t)}{\partial y}; \quad \frac{\partial C_2(-l, t)}{\partial y} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где D — коэффициент молекулярной диффузии; n_0 — пористость пород; C_1, C_2 — концентрации в областях $0 \leq y < \infty$ и $-l \leq y < 0$.

Для удобства решения обозначим:

$$\bar{D} = D/n_0; \quad C_1(y, t) - C_r = C_1^*; \quad C_2(y, t) - C_0 = C_2^*. \quad (3)$$

Тогда систему (1) — (2) можно представить в следующем виде:

$$\bar{D} C_{1yy}^* = C_{1t}^*; \quad \bar{D} C_{2yy}^* = C_{2t}^*; \quad (4)$$

$$\begin{cases} C_1^*(y, 0) = 0; \quad C_2^*(y, 0) = 0; \quad C_1^*(\infty, t) = 0; \\ C_1^*(0, t) + C_r = C_2^*(0, t) + C_0; \\ \frac{\partial C_1^*(0, t)}{\partial y} = \frac{\partial C_2^*(0, t)}{\partial y}; \quad \frac{\partial C_2^*(-l, t)}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Применяя преобразования Лапласа — Карсона к (4) — (5), получаем:

$$\bar{D} T_1' = P T_1; \quad \bar{D} T_2' = P T_2; \quad (6)$$

$$T_1(\infty, t) = 0; \quad y = 0; \quad t > 0; \quad T_1 + T_r = T_2 + T_0; \quad (7)$$

$$T_1 = T_2; \quad y = -l; \quad T_2 = 0. \quad (8)$$

Решение (6) можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} T_1 = A_1 e^{-\theta y} + B_1 e^{\theta y}; \\ T_2 = A_2 e^{-\theta y} + B_2 e^{\theta y}; \end{cases} \quad \theta = \sqrt{\frac{P}{\bar{D}}}. \quad (9)$$

Коэффициенты $A_{1,2}$ и $B_{1,2}$ определяются из условий (7) — (8). Для изображения решение будет

$$\begin{cases} T_1 = 0,5 (T_0 - T_r) (1 - e^{-\theta l}) e^{-\theta y}, \\ T_2 = -0,5 (T_0 - T_r) [e^{-\theta(2l+y)} + e^{\theta y}]. \end{cases} \quad (10)$$

Перейдя к оригиналу функции, найдем [3]:

$$\bar{C}_1 = \frac{C_e - C_1(y, t)}{C_e - C_0} = 0,5 \left(\operatorname{erfc} \frac{y}{2\sqrt{D_1 t}} - \operatorname{erfc} \frac{2l + y}{2\sqrt{D_1 t}} \right); \quad (11)$$

$$\bar{C}_2 = \frac{C_2(y, t) - C_0}{C_e - C_0} = 0,5 \left(2 + \operatorname{erfc} \frac{2l + y}{2\sqrt{D_2 t}} - \operatorname{erfc} \frac{y}{2\sqrt{D_2 t}} \right). \quad (12)$$

В вышеизложенном решении считалось, что коэффициенты диффузии отдельных слоев осредняются и равны. Если учесть разницу между коэффициентом диффузии отдельных слоев, то задача сводится к решению уравнений

$$D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} = n_0 \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (i = 1, 2) \quad (13)$$

при тех же краевых условиях (2). В (13) i — номер слоев.

Решения (13) для изображений можно представить в следующем виде:

$$T_i = A_i e^{-\theta_1 y} + B_i e^{\theta_2 y}; \quad T_2 = A_2 e^{-\theta_1 y} + B_2 e^{\theta_2 y}, \quad (14)$$

где $\theta_1 = \sqrt{\frac{D_0}{P}}$; $\theta_2 = \sqrt{\frac{D_0}{P}}$; P — параметр преобразования.

Коэффициенты $A_{1,2}$, $B_{1,2}$ определяются из условий (7) — (8). Решение в этом случае для изображения будет

$$\begin{cases} T_1 = D_0 \frac{\exp(-\theta_1 y) - \exp(-2\theta_2 l - \theta_1 y)}{1 - \beta \exp(-2\theta_2 l)} \\ T_2 = -\beta \frac{\exp[-\theta_2(2l + y)] + \exp(\theta_2 y)}{1 - \beta \exp(-2\theta_2 l)} \end{cases} \quad (15)$$

Переходя к оригиналу функций, получаем:

$$\begin{aligned} \bar{C}_1 = \frac{C_e - C_1(y, t)}{C_e - C_0} &= \frac{D_0}{D_0 + 1} \sum_{n=0}^{\infty} \beta^n \left[\operatorname{erfc} \left[\frac{1}{2\sqrt{D_2 t}} \left(2nl + \frac{y}{D_0} \right) \right] - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{erfc} \left[\frac{1}{2\sqrt{D_2 t}} \left(2(n+1)l + \frac{y}{D_0} \right) \right] \right]; \\ D_0 &= (D_1/D_2)^{n_0}; \quad \beta = \frac{C_0 - C_e}{D_0 + 1}; \quad \beta = \frac{D_0 - 1}{D_0 + 1}; \\ \bar{C}_2 = \frac{C_2(y, t) - C_0}{C_e - C_0} &= \frac{1}{D_0 + 1} \sum_{n=0}^{\infty} \beta^n \left[\operatorname{erfc} \frac{2l(n+1) + y}{2\sqrt{D_2 t}} + \right. \\ &\quad \left. + \operatorname{erfc} \frac{2nl - y}{2\sqrt{D_2 t}} \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

Если здесь принять $D_s = 1$, $n = 0$, то получим ранее выведенные формулы.

АрмНИИВПиг

29. I. 1986

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. / Н. Н. Веригин, С. В. Васильев, В. С. Саркисян и др.— М.: Недра, 1977.— 271 с.
2. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. / Н. Н. Веригин, С. В. Васильев, В. С. Саркисян и др.— М.: Колос, 1979.— 336 с.
3. Корслюв Г., Есер Д. Теплопроводность твердых тел.— М.: Наука, 1964.— 488 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. С. ГЮНЯНЯН, Е. А. АИРАПЕТАН

РАБОТА СВЧ СВЕТОДАЛЬНОМЕРА В РЕЖИМЕ ФАМ

Известные СВЧ высокоточные светодальномеры [1] обеспечивают точность измерений порядка 0,3 мм. Однако принцип построения этих светодальномеров позволяет построить приборы с более высокой точностью измерения.

В компенсационных СВЧ светодальномерах отношение величины усредненного значения интенсивности $\bar{I}$ света к интенсивности немодулированного света I_0 во всех режимах питания кристаллического модулятора света меньше единицы: $\bar{I}/I_0 < 1$. При 100% модуляции, когда поворот поляризации света достигает 90° , $\bar{I}/I_0 = 0,65$. В этом случае амплитудное напряжение U на кристалле равно полуволновому напряжению U_π , а поступающая в модулятор СВЧ мощность имеет величину P_π . При дальнейшем увеличении U ($U/U_\pi > 1$) отношение $\bar{I}/I_0$ увеличивается и достигает своего максимума (0,7), что следует из выражения для модулированного света, согласно которого построены графики (рис. 1):

$$\bar{I}/I_0 = \frac{1}{2} \left[1 - J_0 \left(\pi \frac{U}{U_\pi} \right) \right], \quad (1)$$

где J_0 — функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Для СВЧ модуляторов света имеет место равенство $(U/U_\pi)^2 = P/P_\pi$, позволяющее определить величину мощности для данного режима работы модулятора света

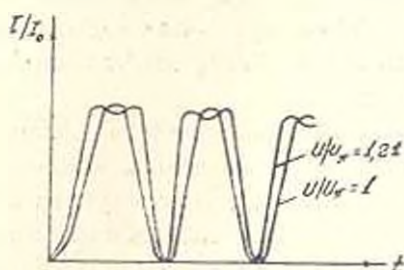


Рис. 1. Зависимость интенсивности света на выходе модулятора света при различных режимах питания.

$$P_{\text{зан}} = P_\pi \left(\frac{U}{U_\pi} \right)^2 = 1,4884 P_\pi. \quad (2)$$

Вместо $P_{\text{с}}$ в выражении (2) следует поставить реальную мощность $P_{\text{р}}$, определяемую экспериментальным путем. Для этого использованы модуляторы на кристаллах *KDP* в диапазоне частот 600—1200 МГц с добротностью $Q = 1000$ (табл. 1).

Таблица 1

$f, \text{МГц}$	d	D	H_p	$l_{\text{кр}}$	$h_{\text{кр}}$	$P_{\text{с}}, \text{вт}$	$P_{\text{р}}$	P_{max}	Схема
600	14	90	115	35	10	155	350	518	
800	14	80	76	35	10	235	265	392	
1200	14	65	63	35	10	500	510	755	

Как видно, модулятор на 600 МГц, у которого $D/H_p < 1$, в отличие от расчетного потребляет примерно в два раза больше мощности, чем модулятор на 1200 МГц ($D/H_p > 1$). Размеры резонатора оптимального модулятора на частоте 800 МГц позволяют возбуждать в зоне установки кристалла волну $E_{\text{м}}$, что приводит к уменьшению потребляемой мощности по сравнению с модулятором на частоте 600 МГц.

По сравнению с модулятором на 1200 МГц некоторое увеличение габаритов модулятора на 800 МГц компенсируется уменьшением мощности питания, примерно, в два раза, как следствие уменьшения частоты модуляции в 1,5 раза. В модуляторе на частоте 800 МГц при мощности питания, равной реальной мощности модулятора на 600 МГц, имеет место перемодуляция света, что приводит к такому сужению положения минимумов света, которому равносильна работа модулятора с частотой 1200 МГц при 100% модуляции света (рис. 2).

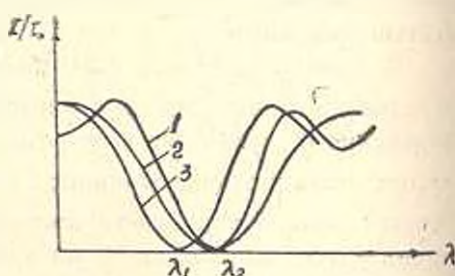


Рис. 2. Зависимость интенсивности света на выходе демодулятора при различных напряжениях и длинах волн модуляции: 1 — $U/U_k = 1,4$, $f = 800 \text{ МГц}$; 2 — $U/U_k = 1$, $f = 800 \text{ МГц}$; 3 — $U/U_k = 1$, $f = 1200 \text{ МГц}$.

Поскольку в светодиодах через модулятор свет проходит дважды, то величины мощностей P_{max} , указанные в табл. 1, уменьшаются в 4 раза, что следует из выражения (1).

Из вышесказанного следует, что основными недостатками современных СВЧ светодиодах являются: а) большая потребляемая мощность модуляции; б) выделение и дальнейшее использование постоянной составляющей модулированного сигнала; в) низкий уровень и слабая зависимость постоянной составляющей от измеряемого расстояния.

В отличие от изложенного принципа работы СВЧ светодальномеров можно реализовать способ измерения расстояний, называемый ФАМ-фиксация амплитуды модуляции. При этом рабочая точка кристаллического модулятора света переносится на линейный участок модуляционной характеристики света, а фотоприемник ФЭУ работает в режиме преобразования частоты. Относительная интенсивность после анализатора на входе фотоприемника представляется выражением [2]:

$$\bar{I}/I_0 = \frac{1}{2} \left[1 + 2J_1 \left(2\pi \frac{U}{U_*} \cos \frac{2\pi D}{\lambda_m} \right) \cos \left(\omega_m t + \frac{2\pi D}{\lambda_m} \right) \right], \quad (3)$$

где J_1 — функция Бесселя первого рода первого порядка; D — измеряемое расстояние; λ_m — длина волны модуляции света.

Согласно выражению (3) на фотоприемник поступает свет, интенсивность которого изменяется с частотой модуляции ω_m . Амплитуда этих колебаний зависит от измеряемого расстояния по закону функции J_1 .

На линиях длиной $D = N \frac{\lambda_m}{2} + \frac{\lambda_m}{4}$ колебание интенсивности света исчезает и на фотоприемник поступает постоянный свет с интенсивностью в два раза меньше I_0 . При $D = N \frac{\lambda_m}{2}$ амплитуда колебаний достигает своего максимума, определяемого максимумом функции $J_1 \left(2\pi \frac{U}{U_*} \right)$. Поскольку фотоприемник не восстанавливает частоту модуляции ω_m , то выходной сигнал ФЭУ не зависит от расстояния D . Чтобы перевести изменения амплитуды колебания света, на входе фотоприемника осуществляется преобразование частоты в катодной камере ФЭУ путем приложения на фотокатод ФЭУ электрического поля, частота которого отличается от частоты модуляции на величину Δf . При этом на выходе ФЭУ формируются низкочастотные колебания, амплитуда которых изменяется по закону изгиба $\bar{I}/I_0$. Из выражения (3) следует, что максимальное значение отношения $\bar{I}/I_0 = 1$ и в 1,4 раза больше, чем отношение $\bar{I}/I_0$.

Для амплитудного значения отношения $\bar{I}/I_0$ выражение (3) можно написать в виде

$$\bar{I}/I_0 = \frac{1}{2} \left[1 + 2J_1 \left(2\pi \frac{U}{U_*} \right) \right] = 1, \quad (4)$$

которое имеет место при значении аргумента функции, равной $2\pi \frac{U}{U_*} = 1,841$ или $U/U_* = 0,3$. Это отношение показывает, что при работе на линейном участке модуляционной характеристики криста-

лического модулятора света необходимая мощность для 100% модуляции света составляет $P_A = 0,09P_p$.

Для максимальных отношений $\bar{I}/I_0$ и $\bar{I}/I_0$ в табл. 2 приведены величины мощностей модуляции при двойном прохождении света через кристалл.

Таблица 2

$f, \text{МГц}$	P_{max}	P_p	P_0	P_A
600	518	350	130	32
800	392	265	98	24
1200	755	510	199	46

Работа СВЧ светодиодономеров в режиме ФАМ приводит к уменьшению мощности модуляции в 4 раза. Кроме уменьшения мощности модуляции повышается чувствительность светодиодомера.

Известно, что амплитуда сигнала формирования в процессе преобразования частоты прямо пропорциональна произведению амплитуд двух первоначальных сигналов, т. е.

$$U_{\text{пр}} = U_1 \bar{I}/I_0 \cos 2\pi \Delta f, \quad (5)$$

где η — коэффициент преобразования ФЭУ.

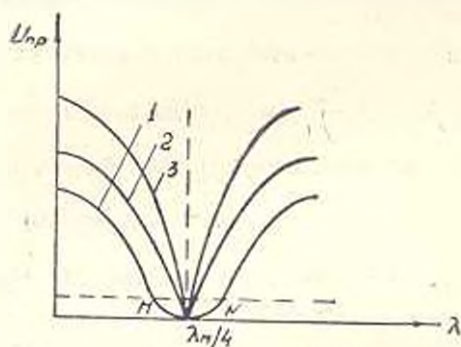


Рис. 3. Зависимость выходного сигнала ФЭУ при различных напряжениях в резонаторе ФЭУ: 1 — сигнал на выходе ФЭУ без резонатора; 2 — напряжение в резонаторе ФЭУ 200В; 3 — напряжение в резонаторе ФЭУ 300В.

Ход кривых зависимостей сигнала $U_{\text{пр}}$ от измеряемого расстояния для рассматриваемых двух режимов работы светодиодомера показан на рис. 3. Там же показана работа светодиодомера, когда минимум света определяется путем фиксации приемных точек M и N на уровне U_p (кривая 1). Сравнивая ход кривых 2 и 3 (режим ФАМ) с кривой 1 (режим компенсационного экстремума), более точные результаты можно получить в режиме ФАМ при напряжениях $U_r = 300$ В и больше.

Хотя расчетная точность фиксации фазы при работе светодиодо-

мера способом ФАМ значительно повышается, однако на практике удается обеспечить повышение точности в 3—4 раза, что приводит к точности измерения фазы 0,03 мд. Учитывая ошибку определения постоянной поправки, равной половине ошибки определения фазы, получаем, что в СВЧ светодиодомерах ошибка измерения 0,05 мд — предельная величина.

ГрПИ им. К. Маркса

19. IX. 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобачев В. М. Радиозлектронная геодезия. — М.: Недра, 1980. — 326 с.
2. Мистель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света. — М.: Наука, 1970. — 296 с.

С. С. ДАРБИНЯН

К ПРОБЛЕМЕ УЧЕТА СИЛ ВНУТРЕННЕГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ

Известно, что колебания системы с одной степенью свободы при сейсмическом воздействии $y_0(t)$, когда внутреннее трение представляется гипотезой Фохта, описывается уравнением

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2n \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = - \frac{d^2 y_0}{dt^2}.$$

Рассмотрим реологическую модель с комплексным вязким сопротивлением. Уравнение движения в таком предположении запишется следующим образом:

$$\frac{d^2 y^*}{dt^2} + 2n_0 e^{i\beta} \frac{dy^*}{dt} + \omega^2 y^* = - \frac{d^2 y_0^*}{dt^2}, \quad (1)$$

где y^* и y_0^* — комплексное смещение системы почвы; n_0 — коэффициент сопротивления; β — фазовый угол.

Пусть внешнее воздействие меняется по гармоническому закону:

$$y_0^* = A^* e^{ip^t} = (A_1 + iA_2) e^{ip^t} = A_1 e^{ip^t}; \quad (2)$$

$$y^* = B^* e^{ip^t} = (B_1 + iB_2) e^{ip^t}.$$

Совместно решая (2) и (1), получаем:

$$B^* = \frac{p^2 A^*}{\omega^2 - p^2 + 2in_0 p e^{i\beta}}, \quad (3)$$

а после некоторых преобразований знаменателя (3):

$$B^* = \frac{p^2 (\omega^2 - p^2 - 2n_0 p \sin \beta - 2in_0 p \cos \beta) A_1}{(\omega^2 - p^2 - 2n_0 p \sin \beta)^2 + 4n_0^2 p^2 \cos^2 \beta}. \quad (4)$$

Учитывая, что $B^* = B_1 + iB_2$ и обозначив $\gamma = \frac{\omega}{p}$, получим:

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{\gamma^2 - 1 - \frac{2n_0}{p} \sin \beta}{\left(\gamma^2 - 1 - \frac{2n_0}{p} \sin \beta\right)^2 + \frac{4n_0^2}{p^2} \cos^2 \beta}, \quad (5)$$

$$\frac{B_2}{A_1} = \frac{\frac{2n_0}{p} \cos \beta}{\left(\gamma^2 - 1 - \frac{2n_0}{p} \sin \beta\right)^2 + \frac{4n_0^2}{p^2} \cos^2 \beta}.$$

Определим действительные части внешней и упругой сил, а также сил сопротивления на единицу массы. Нетрудно найти, что

$$P = \operatorname{Re} \left(-\frac{d^2 y^*}{dt^2} - \frac{d^2 y^*}{dt^2} \right) = A_1 p^2 \left[\left(1 + \frac{B_1}{A_1} \right) \cos pt - \frac{B_2}{A_1} \sin pt \right],$$

$$Q = \operatorname{Re} \left(\omega^2 y^* \right) = A_1 \omega^2 \left(\frac{B_1}{A_1} \cos pt - \frac{B_2}{A_1} \sin pt \right), \quad (6)$$

$$R = \operatorname{Re} \left(2n_0 e^{i\beta} \frac{dy^*}{dt} \right) = -A_1 2n_0 p \left[\frac{B_1}{A_1} \sin (pt + \beta) + \frac{B_2}{A_1} \cos (pt + \beta) \right].$$

где отношения $\frac{B_1}{A_1}$ и $\frac{B_2}{A_1}$ определяются по формулам (5).

На основании (6) отношение внешней силы к упругой будет равно

$$k = \frac{P}{Q} = \frac{p^2}{\omega^2} \left(1 + \frac{A_2 \cos pt}{B_1 \cos pt - B_2 \sin pt} \right). \quad (7)$$

Подставляя в (7) значения B_1 и B_2 из (5), после некоторых преобразований получаем:

$$k = 1 + \frac{\frac{2n_0}{p} \left[(1 - \gamma^2) \sin \beta + \frac{2n_0}{p} \right] \cos pt + \frac{2n_0}{p} (1 - \gamma^2) \cos \beta \sin pt}{\gamma^2 \left(\gamma^2 - 1 - \frac{2n_0}{p} \sin \beta \right) \cos pt + \frac{2n_0}{p} \cos \beta \sin pt}. \quad (8)$$

Нетрудно убедиться, что максимальное значение k не зависит от t , поэтому исследуем изменение k в момент $t = 0$. Принимая $t = 0$, из (8) получаем:

$$k|_{t=0} = k_0 = 1 + \frac{\frac{2n_0}{p} \left[\frac{2n_0}{p} + (1 - \gamma^2) \sin \beta \right]}{\gamma^2 \left(\gamma^2 - 1 - \frac{2n_0}{p} \sin \beta \right)}. \quad (9)$$

Если $k_0 > 1$, это означает, что динамическая сопротивляемость системы увеличивается. Из (9) видно, что вне зоны резонанса k_0 свое максимальное значение получает при $\beta = \pm \frac{\pi}{2}$. При этом, когда $\beta = \frac{\pi}{2}$, из (9) имеем:

$$k_0 = 1 - \frac{2n_0}{p\gamma^2} < 1.$$

Однако наибольший интерес представляет случай, когда $k_0 > 1$, поэтому берем значение $\beta = -\frac{\pi}{2}$. Тогда из (9):

$$(k_0)_{\max} = 1 + \frac{2n_0}{p\gamma^2}. \quad (10)$$

Из (10) видно, что максимальное значение отношения внешней силы к упругой может уменьшаться или увеличиваться в зависимости от γ , т. е. от отношения частот собственных и вынужденных колебаний, и чем больше частота вынужденных колебаний, тем больше сопротивляемость системы.

При $\beta = 0$, т. е. принимая гипотезу Фохта [1], из (9) получаем:

$$\bar{k}_0 = 1 + \frac{4n_0^2}{p^2\gamma^2(\gamma^2 - 1)}. \quad (11)$$

Определим изменение отношения внешней силы к упругому в процентах при разных гипотезах. На основании (9) и (11):

$$\theta_0 = \frac{k_0 - \bar{k}_0}{k_0} = \frac{\frac{2n_0}{p} \left[\frac{4n_0^2}{p^2} - (\gamma^2 - 1)^2 \right] \sin \beta}{(\gamma^2 - 1) \left[\frac{4n_0^2}{p^2} + \gamma^2(\gamma^2 - 1) + \frac{2n_0}{p} (1 - 2\gamma^2) \sin \beta \right]}. \quad (12)$$

При $\beta = -\frac{\pi}{2}$:

$$\theta_0 = \frac{\frac{2n_0}{p} \left(\gamma^2 - 1 - \frac{2n_0}{p} \right)}{(\gamma^2 - 1) \left(\gamma^2 + \frac{2n_0}{p} \right)}. \quad (13)$$

Принимая $2n_0 = \omega\alpha$, где α — коэффициент затухания, получаем:

$$\theta_0 = \frac{\alpha(\gamma^2 - 1 - \alpha)}{(\gamma^2 - 1)(\gamma^2 + \alpha)}. \quad (14)$$

Анализ выражения (12) показывает, что в зависимости от γ и β во многих случаях предложенная реологическая модель дает заметное увеличение отношения внешних и упругих сил по сравнению с обычно принятыми результатами. Так, например, при $\beta = -\frac{\pi}{2}$, $\gamma = 0,1$, $\alpha = 0,1$ из (14) получается $\theta_0 = 0,5$, т. е. указанное увеличение составляет 50%.

Таким образом, предложенная модель в комплексной форме позволяет подходить к решению задачи повышения динамической сопротивляемости конструкций при колебаниях, часто имевших место в действительности.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Назиров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. — Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1959. — 182 с.

С. А. СААКЯН

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАЗРЯДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КИСЛОТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ПРИ ПОСТОЯННОЙ СИЛЕ РАЗРЯДНОГО ТОКА

Химические источники тока (ХИТ) широко используются в различных областях промышленности и техники. Работоспособность ХИТ в тех или иных режимах эксплуатации, в основном, определяется по разрядной характеристике. При наличии аналитического выражения, достаточно точно описывающего разрядные кривые, задача оценки и определения электрических параметров ХИТ намного упрощается. Из существующих математических моделей процесса разряда наиболее известны уравнения С. М. Шеферда [1] и Ю. М. Хашева [2], которые соответственно имеют вид:

$$U = E_0 - Cq - IN - I \frac{KQ}{Q - q} + A \exp(-BQ^{-1}q); \quad (1)$$

$$U = E_0 - Cq - U_{\infty} \left(1 + \beta \left(1 - \exp \left(-\frac{\alpha I}{Q - q} \right) \right) \right) + A \exp(-Dq), \quad (2)$$

где E_0 — э. д. с. полностью заряженного источника; I — ток разряда; $Q, A, B, C, D, N, K, \alpha, \beta, U_{\infty}$ — постоянные параметры; q — разрядная емкость источника ($q = It$).

Неизвестные постоянные параметры в уравнениях (1) и (2) определяются опытным путем из разрядных кривых.

На рис. 1 и 2 приведены экспериментальные и аналитически определенные разрядные кривые при различных значениях разрядного тока для кислотного свинцово-цинкового наливного элемента производства США [1] и кислотной аккумуляторной батареи отечественного производства БСТ-78. Как показывают эксперименты, точность уравнения (1) и (2) для кислотных ХИТ небольшая.

Уравнение разряда ХИТ можно представить в виде:

$$U = E - IR_0 - IR_{\pi} + U_{\text{пер}}, \quad (3)$$

где U — напряжение источника тока; E — э. д. с. ХИТ; I — ток разряда; R_0 — сопротивление полностью заряженного источника; R_{π} — сопротивление поляризации; $U_{\text{пер}}$ — переходная составляющая напряжения, учитывающая часть разрядной характеристики в начальный период разряда.

Э. д. с. зависит от разрядной емкости.

$$E = E_0 - Cq. \quad (4)$$

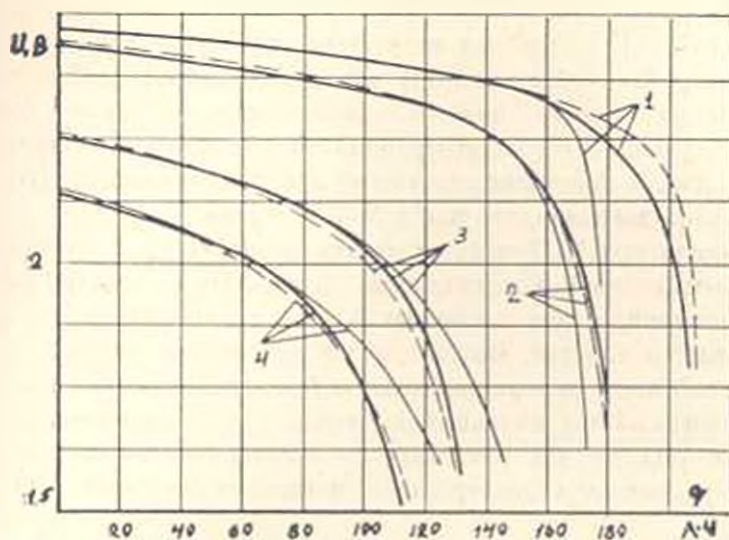


Рис. 1. Экспериментальные и расчетные разрядные кривые кислотного свинцово-платинового плавного элемента при разряде током: 1 — $I = 0.957$ А; 2 — $I = 3.19$ А; 3 — $I = 15.95$ А; 4 — $I = 23.93$ А. Кривые: — экспериментальные; расчетные согласно: — (1); — — (6).

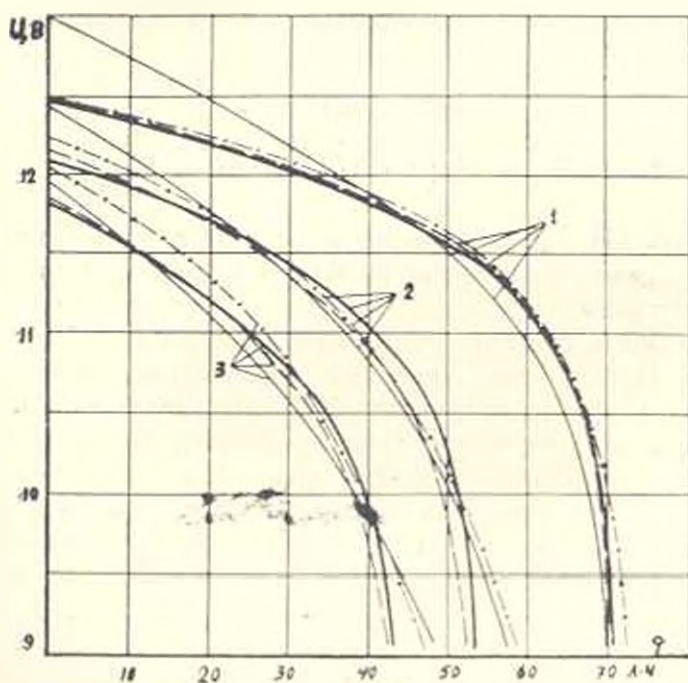


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные разрядные кривые свинцово-кислотного аккумулятора 6СТ-78 при разряде током: 1 — $I = 10$ А; 2 — $I = 40$ А; 3 — $I = 70$ А. Кривые: — экспериментальные; расчетные согласно: — — (1), — — — (2); — — — (7).

Так как э. д. с. кислотных ХИТ от концентрации электролита зависит линейно [3], то для них получается выражение (4).

Параметр R_0 в уравнении (3) зависит от сопротивлений электролита, активных веществ пластин, сепараторов, а также сопротивлений электродной и концентрационной поляризации заряженного источника тока и определяется суммой этих составляющих. В [1] экспериментально доказано, что в (1) $N + K = \text{const}$.

Для кислотных ХИТ наличие составляющей $U_{\text{пер}}$ в уравнении (3) связано с изменением концентрации электролита у электродов до ее уравнивания, а для щелочных ХИТ — с изменением состава активных веществ пластин. Высшая окись никеля при разряде ХИТ непосредственно после заряда переходит в более устойчивые низшие окислы, что выражается уменьшением э. д. с. [3]. Составляющая $U_{\text{пер}}$ в уравнениях (1) и (2) описывается экспоненциальным членом. На рис. 1 и 2 разрядные характеристики приведены без учета этой составляющей.

В процессе разряда ХИТ меняется химический состав активных веществ, что приводит к изменению напряжения. Это изменение в уравнении (3) учитывается сопротивлением поляризации R_n . Как показывают эксперименты, разрядные кривые кислотных ХИТ в конце разряда быстро убывают, следовательно, можно утверждать, что сопротивление поляризации может резко возрасти и при значениях емкости, меньше Q . Сопротивления поляризации, определенные соответственно выражениям

$$R_n = Kq/(Q - q);$$

$$I(R_0 + R_n) = U_{\text{ср}} \left(1 + \beta \left(1 - \exp \left(- \frac{q}{Q - q} \right) \right) \right),$$

в уравнениях (1) и (2), не имеют вышеуказанного свойства. Поэтому разрядные кривые, построенные по (1) и (2) (рис. 1, 2), отличаются от экспериментальных.

При разряде сравнительно большими токами токообразующие реакции по глубине пор протекают неравномерно. Они у входа пор больше, чем в глубине, за счет того, что реагирующие вещества не успевают проникнуть в глубь пор. Поэтому диаметр пор по глубине будет сужаться также неравномерно. Это приводит к ухудшению проникновения реагирующих веществ в поры. В результате уменьшается поверхность активных веществ пластин, участвующих в токообразующей реакции. Следовательно, увеличивается плотность тока и уменьшается концентрация электролита у поверхности пластин, что приводит к уменьшению напряжения источника тока. Это равносильно увеличению сопротивления поляризации, поэтому при разряде источника большими токами до определенного конечного напряжения емкость получается меньше.

С учетом вышесказанного для постоянного значения тока разряда предлагается полумэмпирическое уравнение разрядных кривых кис-

лотных ХИТ, которое, без учета переходной составляющей концентрационной поляризации, имеет вид:

$$U = E_0 - Cq - IR_0 - I \frac{K I^m q}{Q - I^n q} \quad (5)$$

где Q — максимальная практическая емкость; q — отдаваемая источником емкость; K , C , m и n — постоянные параметры.

На основе экспериментальных разрядных кривых для кислотного элемента производства США и кислотной аккумуляторной батареи 6СТ-78 определены коэффициенты уравнения (5). Полученные уравнения соответственно имеют вид:

$$U = 2,4989 - 0,58 \cdot 10^{-3} q - 0,01495I - I \frac{0,0167 I^{-0,1816} q}{218,6 - q I^{0,125}}; \quad (6)$$

$$U = 12,5766 - 0,01297q - 0,01 I - I \frac{0,0108 I^{0,1163}}{96 - I^{0,3165} q}. \quad (7)$$

Разрядные кривые, определенные уравнением (6) и (7), приведены на рис. 1 и 2, откуда видно, что предлагаемое уравнение достаточно точно описывает как начальную, так и конечную часть разрядных характеристик кислотных ХИТ.

ЕрПИ им. К. Маркса

18. V. 1984

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Shepherd C. M.* Design of primary and secondary cells. 1. An equation describing battery discharge. — *J. Electroch. Soc.*, 1985, v. 112, № 7, p. 657—664.
2. *Романов В. В., Хаисов Ю. М.* Химические источники тока. — М.: Советское радио, 1978 — 263 с.
3. *Вайне: Дж.* Аккумуляторные батареи. — М.—Л.: Госинтергоздат, 1960. — 480 с.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԵՑԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Վ. Կասյան, Գ. Ն. Նիկողոսյան, Վ. Ա. Ռոքսման: Ամերիկայի մեթոդական
մշակման պրոցեսում գիտական թայթայման ձայնագրական էմիսիան

ԷԼԵԿՏՐՈՏԵԽՆԻԿԱ

Մ. Ա. Կառապետյան, Լ. Շ. Կարախանյան, Գ. Կ. Գրիգորյան: Ջերմային դաշտի հաշվարկը
միաբնակի տներում

Ս. Գ. Խալոդեյ, Է. Ա. Խան, Ա. Ս. Աբելյան: Գերհաղորդիչ հաղորդակցության մեկուսացման
համար կիրառվող էմալի թաղանթառաջման կինետիկական պարամետրերի
որոշումը

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Վ. Գ. Կորզև, Օ. Վ. Դուբրովսկի, Ա. Գ. Կորզև, Լ. Ա. Մանուկյան: Գրաֆների տեսության
հղանակներով փորձարկման ուժերի ռադմոսկոպիայի ընտրության խնդրի
լուծման մասին

ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Ս. Վ. Պապոյան: Տեղաշարժերի ձիշտ չափման երկկապուղի համակարգի տեսությունը

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈԹՆՐ

Մ. Վ. Կասյան, Ա. Մ. Արզումանյան: Տաշնդի նպատակահարման ձևի և երա ձևավորման
պայմանների որակական գնահատականը

Ս. Հ. Մկրտչյան, Ա. Մ. Ավետիսյան, Վ. Վ. Խաչատրյան: Տանտալի հիմքով պատրաստված
դիմադրական միկրոսխեմաների հուսալիության նախազուշակումը

Ռ. Ե. Հակոբյան, Ռ. Մ. Միրզախանյան, Գ. Գ. Խաչատրյան: Պերլիտի աղացվածքի
ծանցման ցուցանիշների հետազոտումը

Ա. Վ. Սարգսյան: Մոլեկուլային զիֆոզիան բնահողերի օդահագեցման գոտում

Կ. Ս. Դյուբնայան, Ս. Հ. Հալոսպետյան: Գերբարձր հաճախականության լուսահոսաշարժի
աշխատանքը ՄԱՅ-ի ուժերում

Ս. Ս. Դաբրիլյան: Տատուկումների ժամանակ ներքին դիմադրության ուժերի հաշվարկման
պրոցեսի վերաբերյալ

Ս. Ա. Սահակյան: Հոսանքի թթվային աղբյուրների լիցքաթափման բնութագրերի վերլու-
ծական ներկայացումը լիցքաթափման հոսանքի հաստատուն ուժի դեպքում

СОДЕРЖАНИЕ

стр

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- М. В. Касьян, Г. И. Николосян, В. А. Робсман. Акустическая эмиссия хрупкого разрушения аморфных материалов в процессе механической обработки 3

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- М. А. Карапетян, Л. О. Карахиян, К. Г. Крикорян. Расчет теплового поля в табачном листе 7
- С. Д. Холодный, Э. А. Хан, А. С. Абелян. Определение кинетических параметров пленкообразования эмалей, применяемых для изолирования сверхпроводящих проводов 12

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- В. Г. Кобзев, О. В. Дубровский, А. Г. Кобзев, Л. А. Манукян. О решении задачи выбора множества испытательных режимов методами теории графов 16

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. П. Паполян. Теория двухканальной системы точного измерения перемещений 20

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- М. В. Касьян, А. М. Арзуманян. Качественная оценка рациональной формы стружки и условий ее образования 24
- Г. О. Мкртчян, А. М. Аветисян, В. В. Титевоян. Прогнозирование и диагностика резисторных микросхем на основе тантала 27
- Р. Е. Акопян, Р. М. Мирзаханян, Г. Г. Хачатрян. Исследование фильтрующих показателей помола перлита 31
- С. В. Саркисян. Молекулярная диффузия в грунтах зоны эрозии 34
- А. С. Гюнашян, Е. А. Айрапетян. Работа СВЧ светодиодного прибора в режиме ФАУ 37
- С. С. Дробинян. К проблеме учета сил внутреннего сопротивления при колебаниях 41
- С. А. Саакян. Аналитическое представление разрядных характеристик конденсаторных источников тока при постоянной силе разрядного тока 44