

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՆԳՐԵՍ

Ազոնց Հ. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կառյան
Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Նազարով Ա. Գ., Սիմոնով Մ. Ջ.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Азониц Г. Т., Алексеевский В. В., Егизаров И. В., Касьян
М. В. (ответ. редактор), Назаров А. Г., Пинаджян В. В.
(зам. отв. редактора), Симонов М. З.

1265-51

АРМЕНАК ГЕОРГИЕВИЧ НАЗАРОВ

(к шестидесятилетию со дня рождения)

В апреле 1968 г. исполнилось 60 лет со дня рождения известного советского ученого, действительного члена Академии наук и заслуженного деятеля науки и техники Армянской ССР, доктора технических наук, профессора Арменака Георгиевича Назарова.



Начав научные исследования в 1929 г., Арменак Георгиевич уже в 1937 г. за ряд оригинальных работ в области строительной механики был удостоен звания профессора и ученой степени кандидата технических наук — без защиты диссертации. В 1945 г. профессор А. Г. Назаров защитил диссертацию на степень доктора технических наук, в которой впервые была выдвинута идея комплексного инструментального изучения сейсмических сил, исследования динамических свойств строительных материалов, конструкций и сооружений. Как крупный ученый по строительной механике и инженерной сейсмоло-

гии. Арменак Георгиевич в 1945 г. был избран членом-корреспондентом, а в 1960 г. — действительным членом АН Армянской ССР.

За период своей почти сорокалетней научной деятельности А. Г. Назаров опубликовал свыше 100 научных работ, среди которых такие основополагающие монографии как „Метод инженерного анализа сейсмических сил“, в которой на основе динамической теории даются анализ и методы расчета сейсмостойкости зданий и сооружений и „Теория подобия твердых деформируемых тел“, в которой предлагаются эффективные методы расчета моделей строительных конструкций и сооружений.

Результаты исследований Арменака Георгиевича получили широкое признание как в СССР, так и в ряде зарубежных стран.

Под руководством А. Г. Назарова в 1961 г. был организован Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР в Ленинзакане, который в результате проведенных фундаментальных исследований признан головным по координации научных исследований в области инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

Велика заслуга Арменака Георгиевича в деле подготовки научных кадров в области сейсмостойкого строительства как в Армении, так и в Грузии, Таджикистане, Туркмении. Он постоянно поддерживает тесную связь с проектными и строительными организациями, оказывая квалифицированную помощь работникам практики.

Академик Академии наук Армянской ССР А. Г. Назаров дважды избирается депутатом Верховного Совета Армянской ССР, является членом бюро Ленинзаканского Горкома партии и депутатом городского Совета.

В связи с юбилейной датой, особенно приятно отметить, что Арменак Георгиевич полон сил и энергии. Пожелаем же ему долгого здоровья и дальнейших успехов в его научном творчестве.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. А. МАКАРОВ, Р. Э. ДЯЗЯН, И. М. КОРОНЕВСКИИ,
 А. К. СОЛОВЬЕВ, И. А. ЧАРЫКОВ

ОСТАТОЧНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ В ПЕНАСЫЩАЮЩИХСЯ
 СТРУКТУРАХ ТИПА $p-n-p-n$

В статье определяются условия возникновения обратного напряжения на центральном $p-n$ переходе четырехслойной структуры, находящейся в открытом состоянии и рассматривается ее вольтамперная характеристика. Из литературы, посвященной исследованию вольтамперных характеристик тиристоров, известно, что в ряде случаев наблюдается обратное смещение на центральном $p-n$ переходе тиристора, находящегося во включенном состоянии [1]. При этом, величина остаточного напряжения на приборе, как правило, намного больше, чем остаточное напряжение, вычисленное из общепринятой теории [2, 3]. Характерным является тот факт, что большинство случаев появления повышенного остаточного напряжения возникает при уменьшении коэффициентов передачи транзисторных структур тиристора. Это видно из следующих примеров. Для получения полностью управляемых тиристоров, как известно [4], стремятся уменьшить коэффициент передачи транзистора с неуправляемой базой. При этом анализ каталогов выключаемых тиристоров, выпускаемых иностранными фирмами, показывает, что величина остаточного напряжения у этих приборов составляет несколько вольт. То есть увеличение коэффициента выключения тиристора ведет к повышению величины остаточного напряжения. Увеличение остаточного напряжения тиристора, находящегося во включенном состоянии, происходит также в случае, когда уменьшают время выключения тиристора, за счет снижения времени жизни дырок в n -базе. На рис. 1 показана корреляция между временем выключения и величиной остаточного напряжения для четырехслойных структур, изготовленных по технологии приборов типа ВКУ-150*. Изменение времени выключения достигалось путем варьирования режимов диффузии золота в широкую n -базу через прилегающую к ней внешнюю p -область. Из рисунка видно, что уменьшением времени жизни неосновных носителей, по крайней мере, в n -базе, а следовательно, и с уменьшением коэффициента пере-

* Кривая рис. 1 построена по экспериментальным данным Ереванского СКБ полупроводников и металлоторастики.

носа через нее, величина остаточного напряжения возрастает до нескольких вольт.

В обширной литературе, посвященной анализу статических и динамических характеристик четырехслойных приборов в настоящее

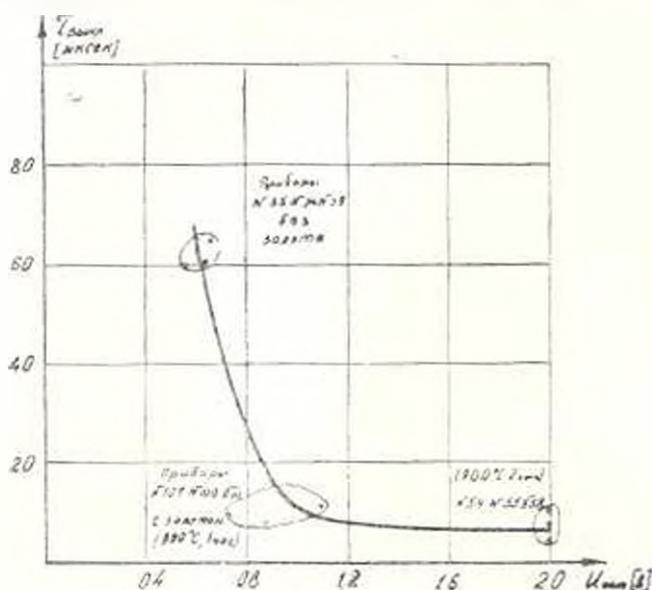


Рис. 1.

время нет достаточно убедительного объяснения отсутствия инверсии знака напряжения на центральном $p-n$ переходе и, соответственно, возникновения большого остаточного напряжения. Объяснение причины появления обратного напряжения на центральном $p-n$ переходе тиристора во включенном состоянии данное в работе [1] нельзя признать удовлетворительным, поскольку оно основывается на рассмотрении зависимости колоколообразной функции $I_c = I(1 - a_1 - a_2)$ только от тока и не учитывается изменение a_1 и a_2 от напряжения на структуре. В данной работе определяются условия, при которых не происходит изменения знака напряжения на центральном $p-n$ переходе тиристора во включенном состоянии и исследуется вольтамперная характеристика этих приборов в открытом состоянии.

Рассмотрим вольтамперную характеристику тиристора в области токов, где заканчивается участок отрицательного и начинается участок положительного дифференциального сопротивления. В рассматриваемом случае напряжение на всей структуре примерно равно напряжению на центральном $p-n$ переходе. Поэтому для простоты рассуждений будем считать, что уравнение, связывающее напряжение на центральном $p-n$ переходе с током через структуру

$$1 - a_1 - a_2 = \frac{I_c}{I} \quad (1)$$

является уравнением вольтамперной характеристики тиристора. На

участке отрицательного дифференциального сопротивления при напряжении далеко от пробивного напряжения центрального перехода отношение собственного тока центрального перехода I_{cs} к полному току I составляет величину порядка 10^{-4} – 10^{-6} .

Это позволяет записать уравнение (1) в виде [5]

$$1 - \alpha_1 - \alpha_2 = 0. \quad (2)$$

Рассмотрим одномерную модель $p-n-p-n$ структуры, показанной на рис. 2. Будем считать, что зависимость α_1 и α_2 от тока опре-

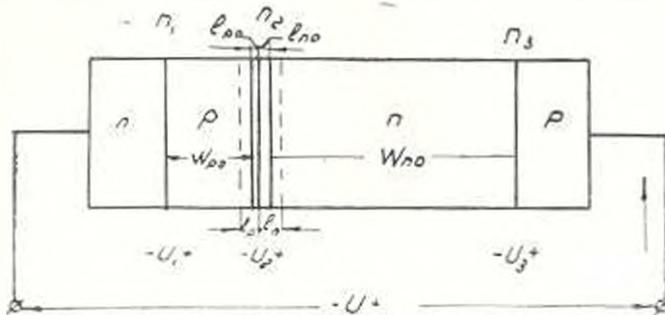


Рис. 2.

деляется только коэффициентами инжекции γ_1 и γ_2 эмиттерных переходов n_1 и n_2 , а зависимость от напряжения коэффициентами переноса через p - и n -базы α_1 и α_2 , зависящими от напряжения на переходе n_2 за счет эффекта Эрли

$$\alpha_1(I, U) = \gamma_1(I) \cdot \alpha_1(U_2);$$

$$\alpha_2(I, U) = \gamma_2(I) \cdot \alpha_2(U_2).$$

Механизм переноса неосновных носителей во внутренних p - и n -областях прием чисто диффузионным, тогда

$$\alpha_1 = \operatorname{sch} \frac{W_{p_1} - \Delta l_p}{l_p}; \quad (3a)$$

$$\alpha_2 = \operatorname{sch} \frac{W_{n_2} - \Delta l_n}{l_n}. \quad (3b)$$

где W_{p_1} и W_{n_2} — ширина p - и n -базы при напряжении на центральном $p-n$ переходе, равном нулю;

l_p и l_n — ширина слоя пространственного заряда центрального перехода, лежащая в p - и n -базах при $U_2 \neq 0$;

l_{p_1} и l_{n_2} — ширина слоя пространственного заряда перехода n_2 , обусловленная соответственно акцепторной и донорной примесью при $U_2 = 0$;

$$\Delta l_p = l_p - l_{p_1}, \quad \Delta l_n = l_n - l_{n_2}.$$

L_n и L_p — диффузионная длина электронов и дырок.

Так как переходы n_1 и n_3 смещены в прямом направлении, то

изменением их ширины можно пренебречь по сравнению с Δl_n и Δl_p и считать, что коэффициенты γ_1 и γ_2 зависят только от напряжения U_2 .

Зависимость коэффициентов инжекции эмиттерных переходов от тока I , учитывая, что проводимость внешних областей много больше внутренних, запишем в виде [6, 7]:

$$\gamma_1 = \frac{2 - I/I_{10} - 2\sqrt{1 + I/I_{10}}}{I/I_{10}}, \quad (4a)$$

$$\gamma_2 = \frac{2 + I/I_{20} - 2\sqrt{1 + I/I_{20}}}{I/I_{20}}, \quad (4b)$$

где I_{10} , I_{20} — постоянные, имеющие размерность тока.

Как показывает расчет, зависимость γ_1 и γ_2 от напряжения U_2 более слабая, чем зависимость $\alpha_1(U_2)$, $\alpha_2(U_2)$ и ею можно пренебречь. В отечественных тиристорах переход n_2 получают диффузионным методом с распределением примеси N_{np} довольно хорошо подчиняющемуся экспоненциальному закону:

$$N_{np} = N_{ncx} (1 - e^{-ax}). \quad (5)$$

Для исследованных в данной работе тиристоров типа МТ-63 исходная концентрация примеси $N_{ncx} = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ($x = 15,0 \text{ м.м. см}$). Величина градиента примеси в центральном $p-n$ переходе определялась по экспериментальной зависимости величины барьерной емкости от обратного напряжения. Причем, в широком диапазоне напряжений $C_{11} \sim U^{-1,4}$, что указывало на плавный характер $p-n$ перехода. Вычисленное значение градиента примеси a было равно 10^{17} см^{-1} .

Величина контактной разности потенциалов и величины l_p и l_n для плавного $p-n$ перехода в равновесных условиях ($U_2 = 0$) рассчитывались по методике, предложенной в [8]. Результаты расчета приведены на рис. 3, откуда видно, что для высоковольтных тиристоров ($a = 10^{17} - 10^{18} \text{ см}^{-1}$) величины l_p и l_n соизмеримы с размерами широкой и узкой баз. При напряжении на центральном переходе, большем контактной разности потенциалов ϕ_k , можно считать

$$\Delta l_p = \Delta l_n = \left(\frac{3}{2} \frac{e \phi_n}{kT} \right)^{1/2} U_2^{1/2} = k U_2^{1/2}, \quad (6)$$

где $k = 4,7 \text{ мкн. в}^{-1/2}$.

Из соотношений (2-4) и (6) получим:

$$\begin{aligned} 1 - \frac{2 + \frac{I}{I_{10}} - 2\sqrt{1 + I/I_{10}}}{I/I_{10}} \operatorname{sch} \frac{W_{p_1} - kU_2^{1/2}}{L_n} - \\ - \frac{2 + I/I_{20} - 2\sqrt{1 + I/I_{20}}}{I/I_{20}} \operatorname{sch} \frac{W_{n_2} - kU_2^{1/2}}{L_p} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Решая графическим способом это трансцендентное уравнение можно найти напряжение на центральном переходе $U_2 = U_2(I)$ и, зная вольт-амперные характеристики эмиттерных переходов $U_1 = U_1(I)$ и $U_3 = U_3(I)$, определить вольт-амперную характеристику тиристора:

$$U(I) = U_1(I) + U_2(I) + U_3(I).$$

Рассмотрим подробнее зависимость $U_2 = U_2(I)$. Для простоты положим $\gamma_1 = \gamma_2$, т. е. будем считать, что $I_{10} = I_{20} = I_0$.

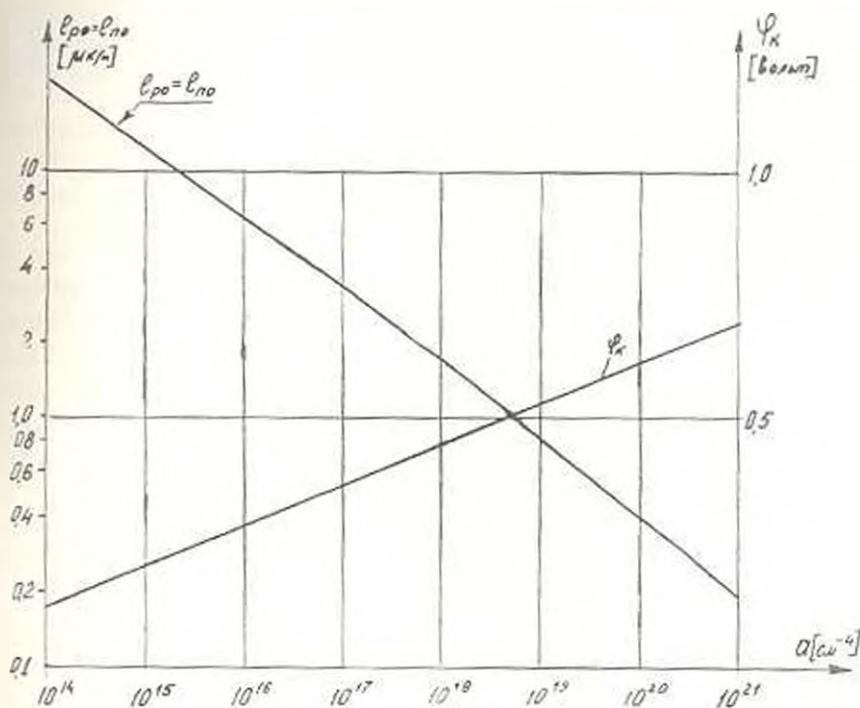


Рис. 1.

В этом случае уравнение (7) перепишем в виде

$$\operatorname{sch} \frac{W_{p_0} - kU_2^{3/2}}{L_n} + \operatorname{sch} \frac{W_{n_0} - kU_2^{3/2}}{L_p} = \frac{I/I_0}{2 + I/I_0 - 2|1 - I/I_0|} \quad (8)$$

Отсюда следует, что с увеличением тока через структуру I , правая часть уравнения (8) уменьшается, стремясь при $I \gg I_0$ к единице. Для выполнения равенства левая часть должна так же уменьшаться за счет снижения напряжения U_2 . В том случае, если сумма коэффициентов переноса через р- и n-базы при $U_2 = 0$ превышает единицу, то при токе $I = I_{\text{max}}$, напряжение на центральном р-и переходе упадет до нуля. Таким образом, условием изменения полярности напряжения на переходе Π_2 является неравенство

$$\operatorname{sch} W_{p_0}/L_n + \operatorname{sch} W_{n_0}/L_p > 1.$$

При обратном неравенстве, с увеличением тока через структу-

ру. напряжение U_2 будет падать, стремясь при $I \gg I_0$ к постоянной величине U_{20} , определяемой выражением:

$$\operatorname{sch} \frac{W_{r_1} - kU_2^{1,2}}{L_n} = \operatorname{sch} \frac{W_{r_2} - kU_2^{1,2}}{L_p} = 1. \quad (9)$$

Следовательно, при токах $I \gg I_0$ напряжение на центральном $p-n$ переходе остается, во-первых, обратным и, во-вторых, постоянным по величине. Дифференциальное сопротивление структуры в этом случае определяется только положительными дифференциальными сопротивлениями эмиттерных переходов. Следует помнить, что уравнение (1) получено из условия, что концентрация неосновных носителей у границ центрального перехода при $U_2 \gg \frac{kT}{e}$ равна нулю, поэтому при

обратном напряжении $U_2 \gg \frac{kT}{e}$ центральный $p-n$ переход не инжектирует. Это обстоятельство, особенно, важно при рассмотрении переходных процессов переключения тиристора. В этой связи интересны экспериментальные данные, приведенные на рис. 1, откуда видно, что наиболее сильное изменение времени выключения наблюдается при изменении величины остаточного напряжения от 0,6 до 1 вольта. У приборов с $U_{ост} > 1$ вольта $\tau_{выкл}$ с увеличением остаточного напряжения меняется немного слабее. Этот факт может быть объяснен тем, что у приборов, имеющих величину $U_{ост} < 1$ в, центральный $p-n$ переход во включенном состоянии насыщен, поэтому основной долей времени выключения является время рассасывания избыточного заряда неосновных носителей границ перехода P_2 .

В случае же, когда $U_{ост} > 1$, центральный $p-n$ переход в открытом состоянии тиристора не инжектирует, поскольку он находится под обратным смещением и этап выхода его из насыщения отсутствует.

Уравнение (9) решается аналитически относительно U_{20} , если

$$\frac{kL_n^{1,2}}{L_n} \ll 1 \quad \text{и} \quad \frac{kL_p^{1,2}}{L_p} \ll 1,$$

$$U_{20} = \left[\frac{1}{\tau_2^{1,2}} + \frac{1 - x_{10} - x_{20}}{\frac{k}{L_n} x_{10} \sqrt{1 - x_{10}^2} - \frac{k}{L_p} x_{20} \sqrt{1 - x_{20}^2}} \right]^{-1} \tau_2. \quad (10)$$

где

$$x_{10} = \operatorname{sch} \frac{W_{r_1}}{L_n}, \quad x_{20} = \operatorname{sch} \frac{W_{r_2}}{L_p}.$$

Для линейного $p-n$ перехода, в котором $k_1 = k_2 = \frac{214}{\alpha}$, выражение (10) можно переписать в виде:

$$U_{20} = \left[\frac{1 - x_{10} - x_{20}}{\tau_2^{1,2} - \frac{\alpha^{1,2}}{214} \frac{1}{L_n} x_{10} \sqrt{1 - x_{10}^2} + \frac{1}{L_p} x_{20} \sqrt{1 - x_{20}^2}} \right]^{-1} \tau_2. \quad (11)$$

В более общем случае, когда γ_1 и γ_2 стремятся к величине < 1 , U_{z0} следует определять из уравнения:

$$1 - \frac{\operatorname{sch} \frac{W_n - k_1 U_{z0}^{1/2}}{L_n}}{1 + \frac{\sigma_p}{\sigma_n} \operatorname{cth} \frac{W_n - k_1 U_{z0}^{1/2}}{L_n}} - \frac{\operatorname{sch} \frac{W_p - k_2 U_{z0}^{1/2}}{L_p}}{1 + \frac{\sigma_n}{\sigma_p} \operatorname{cth} \frac{W_p - k_2 U_{z0}^{1/2}}{L_p}} = 0. \quad (12)$$

Как видно из соотношения (11), при прочих равных условиях остаточное напряжение на тиристоре будет тем больше, чем резче центральный переход. То есть величина остаточного напряжения определяется не только разностью $1 - (\alpha_{10} + \alpha_{20})$, но и характером распределения примеси в центральном переходе.

На рис. 4 показана методика построения зависимости напряжения U_z от тока через $p-n-p-n$ структуру I . Для построения каждой точки задается некоторое значение тока. При расчете принима-

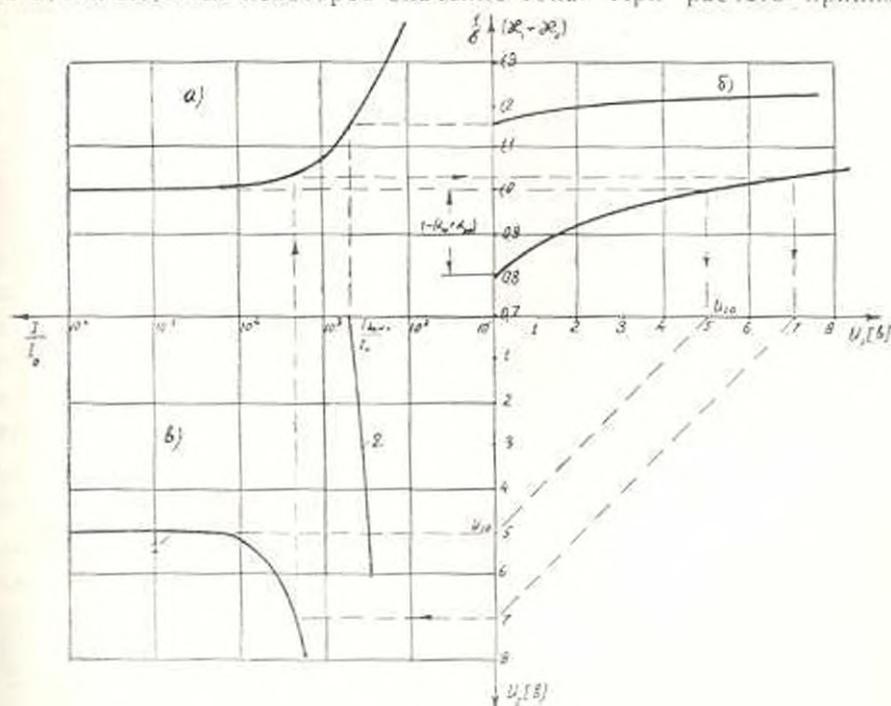


Рис. 4.

лось, что центральный переход линейный с градиентом примеси, равным $a = 10^{18} \text{ см}^{-2}$, ширина запирающего слоя при $U_z = 0$ определялась по рис. 3. Значение коэффициента k для кремнивого линейного перехода определялось по формуле $k = 214 a^{1/2}$. При $a = 10^{18} \text{ см}^{-2}$ величина k равна $10 \text{ мкВ в}^{-1/2}$.

Размеры базовых областей и диффузионные длины электронов и дырок были взяты соответственно равными:

$$W_{\alpha} = 100 \text{ мкн}; \quad L_p = 40 \text{ мкн};$$

$$W_p = 40 \text{ мкн}; \quad L_a = 33,5 \text{ мкн}.$$

Из рис. 4 видно, что при токах больших $I/I_0 = 10^4$, напряжение U_2 стабилизируется на уровне $U_{20} = 5$ в, что соответствует остаточному напряжению на тиристоре $U_{\text{ост}} = 6$ в, считая, что $U_1 + U_2 = 1,0$ в. Важно отметить, что сумма коэффициентов переноса при $U_2 = 0$ и, соответственно, максимальная сумма коэффициентов передачи транзисторных структур равна всего 0,80. На рис. 4в (кривая 2) показан участок вольтамперной характеристики тиристора с параметрами, типовыми для прибора УД-63: $W_a = 150 \text{ мкн}$, $W_p = 50 \text{ мкн}$, $L_a = 71,1 \text{ мкн}$, $L_n = 88,4 \text{ мкн}$.

Зависимости $\Delta I_n = \Delta I_n(U_2)$ и $\Delta I_p = \Delta I_p(U_2)$ рассчитаны по формуле (6). У этого прибора сумма коэффициентов переноса при $U_2 = 0$ превышает единицу (кривая 2 на рис. 4б), поэтому при токе $\frac{I_{\text{вмкз}}}{I_0}$

напряжение на центральном $p-n$ переходе изменяет знак.

Из сравнения кривых 1 и 2, показанных на рис. 4в, видно, что у тиристора с ненасыщающимся центральным $p-n$ переходом участок отрицательного дифференциального сопротивления простирается в область токов, намного больших, чем у тиристора с $x_{10} + x_{20} > 1$. Это качественно подтверждается и экспериментальными данными.

Из опыта производства приборов УД-63 известно, что величина остаточного напряжения на тиристоре зависит от качества изготовления эмиттерного перехода Π_1 . Поэтому представляет интерес оценить это влияние. Полагая в уравнении (11), для простоты $\gamma_2 = 1$, найдем каким значением должен обладать коэффициент инжекции перехода $\Pi_1 = \gamma_{10}^*$ при напряжении $U_2 = 0$ для того, чтобы остаточное напряжение на центральном переходе равнялось вперед заданной величине U_{20} . Результаты расчета U_{20} в функции от $(1 - \gamma_{10}^*)$ представлены на рис. 5 сплошной кривой. Размеры базовых областей и распределение примесей в переходах приняты те же, что и в предыдущем случае для прибора УД-63. Как следует из рис. 5, при изменении величины $1 - \gamma_{10}^*$ от 0,165 до 0,227, что является существенным для коэффициента инжекции, напряжение на центральном переходе U_{20} изменяется всего на 1,2 вольта. И только, начиная со значений $1 - \gamma_{10}^* = 0,23$, происходит резкое возрастание величины остаточного напряжения. Этим, вероятно, объясняется тот факт, что приборы с $U_{20} = 3 - 5$ вольт встречаются довольно редко. На том же рисунке для сравнения приведена зависимость U_{20} в функции $1 - \gamma_{10}^*$ (пунктирная кривая), рассчитанная без учета изменения коэффициента инжекции от напряжения на центральном переходе. Как и следовало ожидать, зависимость U_{20} от коэффициента инжекции γ_{10}^* в этом случае получается более резкая. Таким образом, чем больше влияние напряжения U_2 на величину коэффициента инжекции перехода Π_1 , тем меньше сказывает-

ся разброс γ'_{10} , получаемый при производстве приборов на величину остаточного напряжения.

Из описанного механизма образования вольтамперной характеристики четырехслойной структуры следует, что при условии $\alpha_{10} + \alpha_{20} < 1$ центральный $p-n$ переход не смещается в прямое нап-

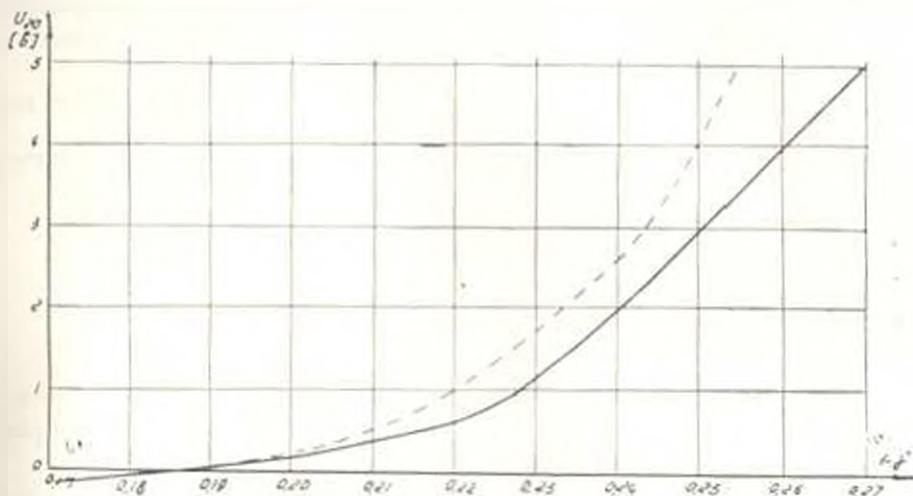


Рис. 5.

вление даже в открытом состоянии. Под открытым состоянием здесь понимается состояние тиристора с малым дифференциальным сопротивлением при напряжении, меньшем напряжения включения. Поскольку в таком состоянии могут находиться $p-n-p-n$ структуры как с прямосмещенным, так и с обратносмещенным центральным $p-n$ переходом, то, видимо, следует различать тиристоры, насыщающиеся и ненасыщающиеся.

Выводы

1. Рассмотрены условия возникновения обратного напряжения на центральном переходе тиристора во включенном состоянии. В основе анализа лежит зависимость протяженности обедненного слоя центрального перехода на коэффициенты переноса α_1 , α_2 и коэффициенты инжекции γ_1 , γ_2 транзисторных структур. Проанализированы вольтамперные характеристики включенного тиристора с обратносмещенным центральным переходом.

2. Показано, что центральный $p-n$ переход включенного тиристора смещается в прямом направлении в том случае, если при нулевом напряжении на нем сумма $(\alpha_{10} + \alpha_{20})$ превышает единицу. Если же во всем диапазоне токов $\alpha_{10} + \alpha_{20} < 1$, то смещение центрального перехода остается всегда обратным.

3. Величина обратного напряжения на центральном $p-n$ переходе в открытом состоянии зависит не только от разности $1 - (\alpha_{10} + \alpha_{20})$,

но и от распределения концентрации примеси в центральном $p-n$ переходе. Для линейного перехода остаточное напряжение тем больше, чем больше градиент примеси при прочих равных условиях.

4. С точки зрения анализа переходных процессов переключения необходимо классифицировать тиристоры на насыщающиеся и ненаасыщающиеся, поскольку в ненаасыщающихся структурах отсутствуют этапы накопления и рассасывания избыточного заряда неосновных носителей вблизи центрального $p-n$ перехода.

МЭИ

Поступило 17.XI.1967.

Վ. Ա. ՄԱԿԱՐՈՎ, Բ. Է. ԱՅՈՉՅԱՆ, Ի. Մ. ԿՈՐՆԵՎՈՒ Ա. Կ. ՍՈՒՐՅԱՅՎ, Ն. Ա. ՉԱՐԿՈՎ

ՄԱՅՏՈՐԳԱՅԻՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ $p-n-p-n$ ՏԻՊԻ ՉԱԳԵՏՎՈՂ ԱՏՐՈՒՏՈՒՐԱՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ս ւ մ

Դիտվում են այն պայմանները, որոնց դեպքում n_2 կենտրոնական $p-n$ անցումը տիրիստորի միացված վիճակում զտնվում է Նետադարձ շեղման տակ:

Վերլուծության հիմքում ընկած է տրանզիստորային ստրուկտուրաների հոսանքահաղորդման դորձակիցների կախումը n_2 անցման ստրածական լիցքի շեղման լայնությունից: Կատարված է Նետադարձ շեղմամբ կենտրոնական $p-n$ անցումով միացված տիրիստորի մոլտամպերային բնութագրերի վերլուծություն:

Ցույց է տրված, որ Նետադարձ լարման u_{20} մեծությունը կախված է տրանզիստորային ստրուկտուրաների հոսանքահաղորդման դորձակիցների ($\alpha_{10} + \alpha_{20}$) գումարից (երբ կենտրոնական $p-n$ անցումում դերոյական լարում է) և անցման մեջ խառնուկների բաշխման բնույթից: Որքան մեծ է խառնուկի դրադիենտը, այնքան մեծ է Նետադարձ շեղումը զծային կենտրոնական $p-n$ անցումում՝ ($\alpha_{10} + \alpha_{20}$)-ի տվյալ արժեքի դեպքում:

Նշվում է, որ շահագիցվող ստրուկտուրաների միացման և անջատման ժամանակ բացակայում են ոչ հիմնական հոսանքակիրների ավելցուկային լիցքի կուտակման ու ցրման փուլերը կենտրոնական $p-n$ անցման սահմանի մոտ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Грегов Н. В., Лебедев А. А., Шинейчук Н. А., Тушкович В. М., Уваров А. И., Челмоков В. Е., Шумин В. Б., Яковчук Н. Н. Вольтамперная характеристика откомтой диффузионной кремниевой четырехслойной структуры типа $p-n-p-n$. «Физика $p-n$ переходов». Рига, 1966.
2. Мюлл Дж., Тансибаум М., Голдбер Дж., Холоньяк Н. Транзисторные переключатели $p-n-p-n$ типа. Сборник статей «Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением». Госэнергоиздат, 1962.
3. Кузьмин В. А. Вольтамперная характеристика полупроводниковых приборов со структурой $p-n-p-n$ во включенном состоянии. «Радиотехника и электроника», 1963, 8, № 1.
4. Storm H. «Electro-Technology», 1963, v. 72, X, № 4.

5. Кузьмин В. А., Сенаторов К. Я. Четырехслойные полупроводниковые приборы. Изд. "Энергия", М., 1967.
6. Sah C. T., Noyce R., Shockley W. Carrier generation and recombination in p-n junctions, Proc. IRE, 1957, v. 45, № 9, p. 1228.
7. Muss D. R., Goldberg G. Switching mechanism in the p-n-p-n silicon controlled Rectifier, IEEE Trans. on E. D., 1963, 10, p. 113.
8. Shockley W. "The theory of p-n junction in semiconductors and p-n junction transistors". The Bell system technical Journal, v. XXVIII, № 3, 1949.

В. К. АБРАМЯН, Л. Е. КРАШИН

К ВОПРОСУ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЗАРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВКЕ СЫПУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Авторами исследовалась возможность нейтрализации зарядов, возникающих при пневматической транспортировке порошкообразных материалов, при помощи введения в трубопровод струи ионизированного воздуха (рис. 1). Ионы, генерируемые коронным разрядом с острого края, имели знак противоположный знаку зарядов, образующихся в транспортируемом материале.

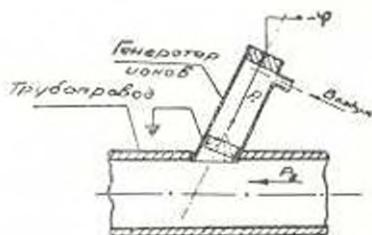


Рис. 1.

Условия нейтрализации состоят в том, чтобы

$$Q_2 < K_a Q_1 \quad (1)$$

где

Q_2 — количество электричества, ежесекундно переносимое пылегазовым потоком через поперечное сечение трубопровода;

$\alpha < 1$ — коэффициент, характеризующий потери ионов;

$K_a < 1$ — коэффициент ионопередачи, зависящий от скорости пылегазового потока, от скорости воздуха, подающего ионы из генератора, от геометрии и конструкции системы, от температуры газа, от дисперсности и диэлектрической проницаемости транспортируемого материала, от коэффициента диффузии частиц пыли и ионов.

$Q_1 = \alpha i_0 F$ — количество электричества, ежесекундно поступающее из генератора ионов в трубопровод.

Здесь: ρ — объемная плотность зарядов ионов; кул./м³;

v_0 — скорость воздуха в выходном патрубке генератора, м/сек;

F — поперечное сечение выходного патрубка, м².

Используя (1), можно получить наименьшую концентрацию ионов, необходимую для нейтрализации зарядов.

2. Для нейтрализации заряда частицы необходимо наличие направленного движения ионов к ее поверхности. Движение ионов происходит за счет многих причин, но требуемое направленное движение вызывают только три из них: электрическое поле частицы, ло-

кальное возмущение заряженной частицей плотности пространственного заряда ионизированного газа относительно движущейся частицы (обтекание).

Изменение заряда частицы за счет приближения ионов к ее поверхности можно выразить уравнением [1]

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -(KE_0 - D) \operatorname{grad} \psi, \quad (2)$$

где

$E = E_1 + E_0$ — результирующая напряженность поля, v м;

D — коэффициент диффузии, м сек;

K — подвижность ионов, $m^2 v. сек$;

E_1 — напряженность электрического поля на поверхности частицы, v м;

S — поверхность частицы, m^2 ;

E_0 — эквивалентность напряженности поля, заменяющая эффект притяжения ионов к частице при обтекании ее потоком воздуха, v м;

t — время, сек.

Нейтрализация заряда частицы происходит в соответствии с уравнением (2) как единый процесс, но ради упрощения решения будем рассматривать отдельно два механизма: нейтрализацию за счет направленного движения ионов при наличии электрического поля и нейтрализацию за счет диффузии ионов.

3. На ион, находящийся около заряженной частицы, действуют следующие силы: сила увлечения потоком воздуха, сила кулоновского взаимодействия, сила притяжения „зеркальным изображением“. Пренебрегая влиянием поляризации (из-за отсутствия внешнего электрического поля и учитывая, что частица непроводящая), а также влиянием силы тяжести

$$E = E_0 \cos \theta - \frac{q}{r_0^2 (1 - v)} + \frac{e}{4 r_0^2}, \quad (3)$$

где E_0 — сила увлечения потоком воздуха, которую можно выразить через эквивалентную напряженность поля (для однозарядного иона):

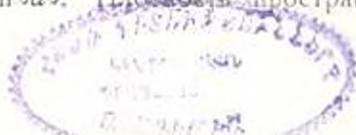
r_0 — радиус частицы, м; $v = R/r_0 - 1$;

R — расстояние между центрами иона и частицы, м;

θ — угол между направлением E_0 и линией, соединяющей ион с центром частицы. Для получения закона кинетики процесса нейтрализации воспользуемся методом Потенье [2] для изолированной шарообразной частицы. Предположим, что θ_0 — есть угол, вне которого $E = E_0 + E_1 = 0$; тогда

$$\cos \theta_0 = - \frac{q}{E_0 r_0^2 (1 + v)} - \frac{e}{4 E_0 r_0^2}. \quad (4)$$

Выделим сегмент $ds = 2 \pi r^2 \sin \theta d\theta$. Плотность пространственного заряда составляет $\rho = n q$.



где n_0 — объемная концентрация ионов, $1/\text{м}^3$. Для частиц, радиус которых во много раз больше, чем длина свободного пробега иона при нормальных условиях, можно принять, что неоднородность распределения ионов в окрестностях частиц незначительна, т. е. $\text{grad } \gamma_0 \approx 0$.

Тогда

$$\frac{\partial^2 q}{\partial S \partial t} \approx -kE_{\gamma_0}. \quad (5)$$

Сначала решим это уравнение без учета силы притяжения „зеркальным изображением“.

Приняв $E = E_0 \cos \theta = \frac{q}{R^2}$; $\cos \theta_0 = -\frac{q}{E_0 R^2}$, получим

$$\frac{\partial^2 q}{\partial \theta \partial t} = -2 = r_0^2 k n_0 \sin \theta \left(E \cos \theta + \frac{1}{R^2} \right).$$

Решение этого уравнения при начальных условиях $t = 0$, $q = 0$

$$q = (q_0 + E_0 R^2) \exp\left(-\frac{M_0 r_0^2}{R^2} t\right) - E_0 R^2. \quad (6)$$

где

$$M_0 = 2 = k n_0 e.$$

Для учета силы притяжения „зеркальным изображением“ примем

$$E = E_0 \cos \theta + \frac{q}{R^2} + \frac{e}{4r_0^2}, \quad (7)$$

$$\cos \theta_0 = -\frac{4r_0^2 q + R^2 e}{4R^2 r_0^2 E_0}. \quad (8)$$

Тогда

$$\frac{\partial^2 q}{\partial \theta \partial t} = -2 = r_0^2 k n_0 e \sin \theta \frac{4R^2 r_0^2 E_0 \cos \theta + 4r_0^2 q + eR^2}{4R^2 r_0^2}.$$

Преобразуя, получаем:

$$-\frac{1}{M_0} \frac{dq}{dt} = M_1 q^2 + M_2 q + M_3,$$

где

$$M_1 = \frac{r_0^2}{R^4 E_0} - A r_0^2, \quad M_2 = \frac{e}{2R^2 E_0} + 2 \frac{r_0^2}{R^2} = B + C r_0^2,$$

$$M_3 = \frac{e}{2} + \frac{e^2}{16r_0^2 E_0} + r_0^2 E_0.$$

Коэффициенты M_1 , M_2 , M_3 удовлетворяют соотношению

$$4M_1 M_3 - M_2^2 = 0.$$

Окончательное решение уравнения при указанных начальных условиях дает заряд, доставляемый ионами на поверхность частицы за время t

$$q = \frac{\varphi_0 + \frac{M}{2M_1}}{M_0 + 2M_1(2M_1\varphi_0 + M_2)t + 1} \frac{M_2}{2M_1} \quad (9)$$

4. Распределение ионов в пространстве, окружающей частицу, если последняя имеет форму шара, и если соседние частицы достаточно удалены друг от друга, определяется уравнением [4]

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d^2(r\varphi)}{dr^2} = -4\pi\rho, \quad (10)$$

где φ — потенциал частицы v : $\varphi = e(n_1 - n_2)$, кул./м³;

n_1 — концентрация положительных ионов, 1/м³;

n_2 — концентрация отрицательных ионов, 1/м³.

Предположим, что диффузия ионов одного знака в собственном газе совершается в направлении оси x . Пусть приложено электрическое поле, параллельное этой оси. Допустим, что поле подавляет диффузию так, что скорость движения ионов обращается в нуль

$$W = W_{\text{дифф.}} + W_{\text{э.п.}} = 0, \quad (11)$$

Тогда, интегрируя уравнение диффузии [5]

$$W_{\text{дифф.}} = -\frac{D}{n} \frac{dn}{dx} = -kE \quad (12)$$

и подставляя сюда $E = -\frac{d\psi}{dx}$, получаем:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{k}{D}\psi}, \quad (13)$$

где n — концентрация ионов, 1/м³;

k — подвижность ионов, м²/в. сек;

E — напряженность поля, в/м;

$\psi = \varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов точек поля. При не слишком больших значениях напряженности поля ионы находятся в тепловом равновесии с окружающим газом, и этот случай как раз имеет место при нейтрализации частиц материала в системе пневмотранспорта.

Тогда

$$\frac{k}{D} = \frac{e}{kT}$$

Подставляя в уравнение (13), находим:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{e\varphi}{kT}} \quad (14)$$

Следовательно, концентрация ионов в точке, потенциал которой равен φ , однозначно определяется отношением электростатической (потенциальной) энергии к тепловой (кинетической) энергии, т. е. имеет место распределение Больцмана, согласно которому

$$n_1 = n_0 e^{-\frac{e\varphi}{kT}} \quad (15)$$

$$n_2 = n_0 e^{\frac{e\varphi}{kT}} \quad (16)$$

где n_0 — концентрация ионов обоих знаков на большом расстоянии от частицы, в области $\varphi \approx 0$. Тогда

$$\rho = -en_0 \left(e^{-\frac{e\varphi}{kT}} - e^{\frac{e\varphi}{kT}} \right) = 2n_0 e \operatorname{sh} \frac{e\varphi}{kT}$$

и уравнение (16) принимает вид:

$$\frac{1}{r} \frac{d^2(r\varphi)}{dr^2} = \delta \pi n_0 e \operatorname{sh} \frac{e\varphi}{kT} \quad (17)$$

Это уравнение решается просто при условии $e\varphi \ll kT$, т. е. когда оно может быть линеаризовано.

По опытным данным можно произвести оценку возможности линеаризации. Так, для сахарной пылинки с $q = 10^3 e$, $r_0 = 0,01$ см имеем

$$\varphi = \frac{q}{r_0} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3}{0,01 \cdot 0,1 \cdot 10^{-21}} \delta = 0,16 \text{ в} < 0,25 \text{ в.}$$

Значит, в нашем случае линеаризация возможна и уравнение (17) приводится к виду:

$$\frac{1}{r_0} \frac{d^2(r\varphi)}{dr^2} = \frac{8 \pi n_0 e^2}{kT} \varphi = l^2 \varphi \quad (18)$$

где

$$l = \frac{8 \pi n_0 e^2}{kT}$$

Решение уравнения соответствует следующей физической картине распределения потенциала:

$$r\varphi = C'e^{-lr} \text{ при } r \rightarrow \infty \varphi \rightarrow 0.$$

Постоянная C' равна $\varphi_0 = \varphi$ при $r = r_0$ и представляет собой потенциал на поверхности частицы. Тогда окончательно:

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{r} e^{-l(r-r_0)} \quad (19)$$

Потенциал φ_0 является суммой потенциала ионизованного газа, окружающего частицу, и потенциала самой частицы.

Электрическое поле на поверхности частицы определяется только зарядом q

$$E_n = \frac{q}{r_0^2}$$

или через потенциал

$$E_n = - \left(\frac{d\varphi}{dr} \right)_{r=r_0} = \frac{\varphi_0}{r_0} e^{-l(r_0-r_0)} (1-lr_0) \quad (20)$$

Отсюда находим

$$q = Lz_0 \quad (21)$$

где

$$L = r_0(1 - lr_0)e^{-2lr_0}$$

Вследствие теплового движения молекул газа на частицу в единицу времени попадает заряд [6]

$$Q_0 = \beta \frac{4\pi r_0^2}{3}$$

где

n — концентрация ионов вблизи частицы, l, m^3 ;

v — средняя скорость (арифметическая) молекулы, m/sec ;

$\beta < 1$ — доля от общего количества соударений, которая приводит к передаче заряда; в ином случае можно считать, что все соударения приводят к передаче заряда, т. е.

$$\beta = \left| \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \right|$$

где m — масса иона, kg ;

k — постоянная Больцмана.

За время dt изменение заряда частицы составит

$$dq = -\frac{1}{4} \left| \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \right| 4\pi r_0^2 n_0 e^2 e^{\frac{Lq}{kT}} dt \quad (22)$$

В соответствии с распределением Больцмана

$$n = n_0 e^{-\frac{Lq}{kT}} = n_0 e^{-\frac{eq_0}{kT}}$$

Подставляя значение n , полученное из (22), находим

$$dq = -\frac{1}{4} \left| \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \right| 4\pi r_0^2 n_0 e^2 e^{\frac{Lq}{kT}} dt$$

Решение этого уравнения при начальных условиях $t_0 = 0$, $q = q_0$ дает

$$q = \frac{LkT}{l} \ln \left[\frac{\pi r_0^2 e^2 n_0}{LkT} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} t + \exp\left(-\frac{eq_0}{LkT}\right) \right] \quad (23)$$

Время нейтрализации, за которое q падает до нуля в силу (23) может быть найдено из уравнения

$$t = LkT \frac{1 + \exp\left(-\frac{eq_0}{LkT}\right)}{\pi n_0 r_0^2 e^2 \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}} \quad (24)$$

Сопоставляя конечные результаты анализа обоих механизмов нейтрализации, замечаем, что качественный характер этих результатов совпадает. Именно, с увеличением начального заряда q_0 частицы уве-

личивается время, затрачиваемое на его нейтрализацию; с увеличением радиуса r_0 частицы (при одном и том же значении начального заряда) сокращается время нейтрализации.

Отметим, что при нейтрализации за счет диффузии ионов происходит вначале уменьшение заряда частицы до нуля, а затем начнется зарядка частицы зарядом противоположного знака, т. е. происходит перезарядка. Теоретически под воздействием теплового движения молекул газа частицы могут перезарядаться без ограничения, приобретая заряд произвольно большого значения (если не учитывать рассеивания), так как при установившейся температуре и газе встречаются, хотя и редко, ионы со скоростями произвольно большой величины. Но практически перезарядка не может продолжаться долго вследствие ограничения времени пребывания частицы в зоне нейтрализации.

Выполненное нами экспериментальное исследование нейтрализации порошка сахара при его пневмотранспортировке воздухом подтвердило изложенные выше теоретические выводы.

ЛТИ

Поступило 19.VII.1966.

Չ. Կ. ԱՐԱՆՅԱՆ, Գ. Ե. ԿՐԱՊԻՎԻՆ

ՍՈՐՈՆԻՆ ԵՅՈՒԹԵՐԻ ՊԵՆԵՏՐԱՑԻՈՆԱԴՐՈՒՄԻ ԱՌՄԱՆԿ ԱՌԱՋԱՑՈՎ ԱՍՏԻՔ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԼՐՔՔԻՐԻ ՉՆԶՈՔԱՑՄԱՆ շԱՐՅԻ ՇՈՒՐՉԸ

Ա. Վ. Գ. Ե. Կ. Ե. Կ.

Հսկվածում բնարկված են սորուն նյութերը պինձափոխադրման պայմաններում ստաթիկ էլեկտրականության լիցքերի չեզոքացման հարցերը Տեսականոթին առամնադրված է ստաթիկ էլեկտրականության լիցքերի չեզոքացման նեարափոխությունը խողովակաշարի մեջ պոսակափոր պարպման իրենացված օդի շոսանք մտցնելու միջոցով:

Դիտված է մասնիկների լիցքի չեզոքացման կինեմատիկան:

ա) Ի հաշիվ իոնների ազդարարված շարժման՝ օդի շոսանքի շնորհիվ առաջացող բաշպ-աանող ուժերի, կուլոնյան փոխապզկիչության ուժերի և ճշակային պատկերման ձգողության ուժերի ազդեցության տակ:

բ) Իոնների դիֆուզիայի նեաներով:

Չեզոքացման այդ երկու մեխանիզմների արդյունքները նամադրելիս, նկատված է, որ մասնիկի նախնական լիցքի մեծացման նեա սպիկյանում է նրա չեզոքացման վրա ծախսվող ժամանակը, մասնիկի շոսակղի մեծացման նեա դեպքում: Նեարափոր է մասնիկների փերայիցրափորում իոնների դիֆուզիայի կրնաավում է չեզոքացման ժամանակը՝ նախնական լիցքի միկնայն արժեքի հաշիվն: Սակայն դորձնականորն վերալիցրավորումը չի կարող երկար շարունակվել՝ չեզոքացման գոտում սահմանափակ ժամանակամիջոցում մասնիկի գտնվելու պոսանառով:

Օրով պնեմատիտիտղրելիս շարարի փոշու չեզոքացման էքսպերիմենտալ հետազոտությունները հաստատել են շարարոված հետևությունները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Балабинюв Е. М. Зарядка частиц в электрическом поле коронного разряда при большой запыленности газа. Журн. «Электричество», 2, 1965.
2. Arendt P. u. Kallman N. Ueber den Mechanismus der Aufladung von Nebeteilehen. Zeit. fur Physik, № 35, 1926.
3. Власов А. А. ЖЭТФ, 8, 291, 1938.
4. Энгель А. Ионизированные газы. Физматгиз, М., 1959.
5. Энгель А., Штенбек М. Физика и техника электрического разряда в газах. ОНТИ, 1935.
6. Жебровский С. И. Электрофильтры. М. —Л., 1950.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. А. ГРИГОРЯН

ПОЛУЧЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ НОМИНАЛОВ ВАРИСТОРОВ
 НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО
 СОПРОТИВЛЕНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Варисторы — это нелинейные полупроводниковые сопротивления (НПС), вольтамперная характеристика которых симметрична относительно начала координат, а аналитическая зависимость аппроксимируется в виде

$$I = BU^{\beta}, \quad (1)$$

где β — коэффициент нелинейности,

B — постоянная, зависящая от физико-химических свойств материала и технологии изготовления изделия.

По определению коэффициент нелинейности есть отношение динамической проводимости к статической

$$\beta = \frac{\sigma_d}{\sigma_{ст}} = \frac{dI}{dU} \cdot \frac{U}{I}. \quad (2)$$

В основе изготовления варисторов лежит керамическая технология [1, 2], в качестве сырья служит электротехнический карбид кремния в виде порошка зернистостью до 150 микрон. Порошок скрепляется соответствующей связкой с оформлением в определенную конструкцию, согласно технологии, схема которой приведена на рис. 1.

Установлено, что с увеличением granulometрии порошка уменьшается удельное сопротивление спрессованного конгломерата (рис. 2). Теоретически обосновать этот экспериментально полученный результат пока не удалось из-за неясностей в энергетической диаграмме поликристаллических структур. Однако в первом приближении можно использовать модель со сферическими частицами при точечном контактировании зерен. С увеличением крупности зерен напряжение, приходящееся на каждый последовательный зазор, увеличится при одном и том же значении приложенного напряжения, а следовательно, электропроводность порошка с более крупными зёрнами (рис. 3а) при прочих равных условиях должна быть больше, чем порошка с мелкими зёрнами (рис. 3б). Поскольку $U_1 > U_2$, то эмиссия носителей на контактах больших зерен будет больше, чем на малых. Это явление может быть взято за основу для сортировки зерен по фракциям. Согласно ГОСТ 3584-53 карборунд можно просеять по зерни-

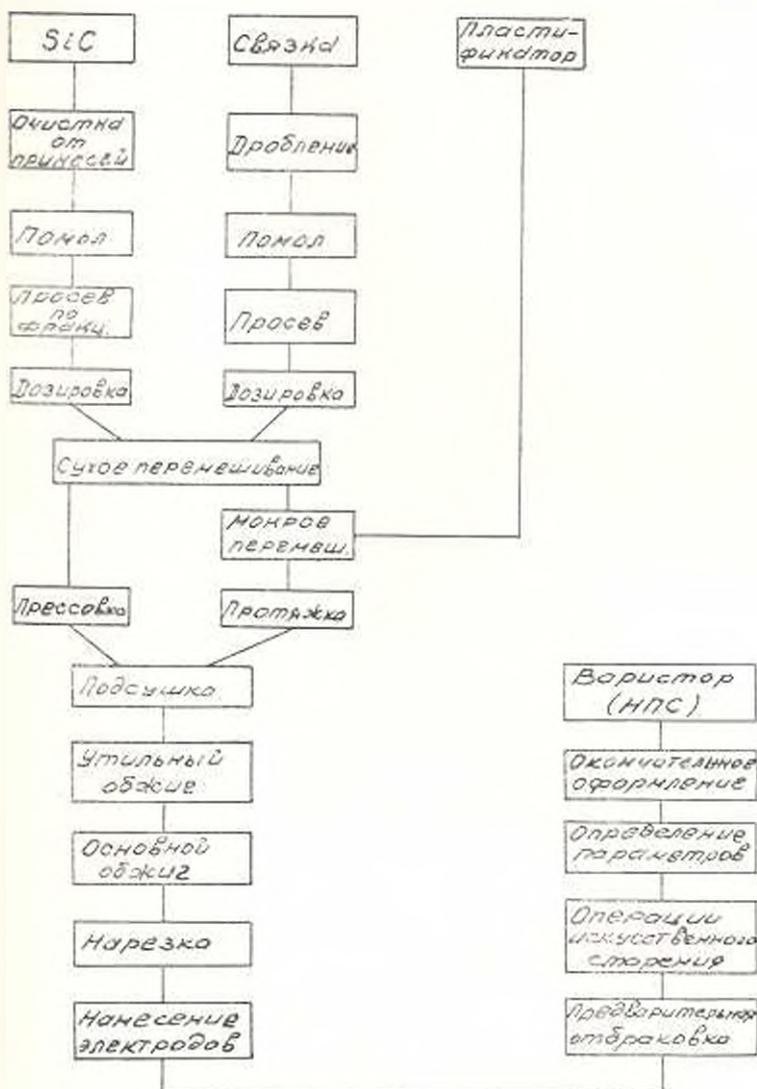


Рис. 1 Схема технологического процесса изготовления варистора на керамической связке.

стости на группы через сита 005, 0063, 008, 0100, 0125, 0160 и др. Это значит, что в первую группу попадут зерна с размерами 50–63 микрон, во вторую — 63–80 микрон и т. д. Меньше 50 микрон сортировку проводить через сита в настоящее время практически невозможно. В то же время может оказаться, что для параметров варисторов может понадобиться малая зернистость. С другой стороны известно, что зерна карборунда, попавшие в одну и ту же группу, могут иметь разное значение удельного сопротивления, а следовательно, изготовленные из них сопротивления будут иметь разные параметры. Действительно, электропроводность карбида кремния как и любого другого полупроводникового материала зависит от ряда таких

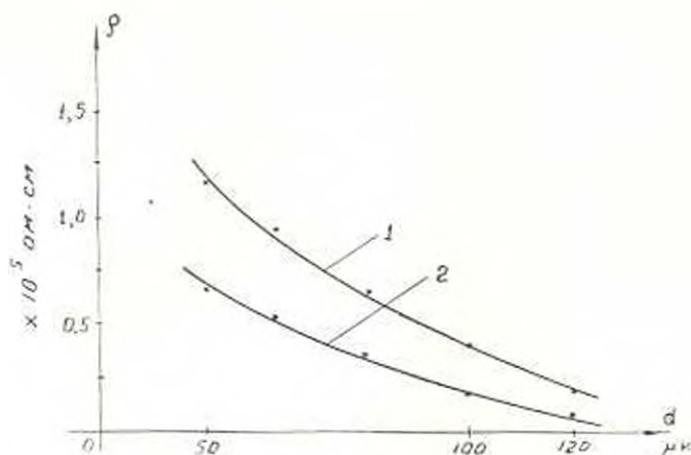


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления порошка карборунда от средней зернистости при $P = 1000 \text{ кг/см}^2$:
1 — при $E = 150 \text{ в.с.м.}$, 2 — при $E = 300 \text{ в.с.м.}$

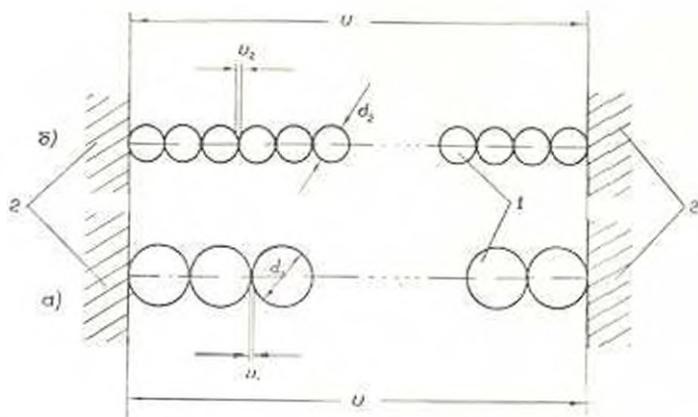


Рис. 3. Модель цепочки зерен и варистора: а) крупная фракция, б) мелкая фракция. 1 — зерна карбида кремния, 2 — омические контакты. u_1, u_2 — напряжения на контактах зерен, d_1, d_2 — диаметры зерен. $u > u_1$, так как $d_1 > d_2$

факторов, как степень легирования, несовершенства, наличие примесей и др. Экспериментально установлено, что пропуская порошок, примерно одной зернистости, в сильном электрическом поле наблюдается поляризация зерен и в результате действия сил поля они получают соответствующее отклонение (рис. 4). Сортируемый таким образом порошок имел градиент в удельном сопротивлении. Причем, по краям насыпи порошки отличались по ρ в 2–3 раза. Отсюда следует, что сортировка порошка только по зернистости не может обеспечить с большой точностью попадание в требуемые параметры. Поэтому возникает необходимость после просева проводить дополнительную сортировку порошка по удельному сопротивлению (удельной электропроводности). Это бывает, особенно, необходимо для изго-

товления сопротивлений из зерен менее 50 микрон, когда практически невозможно сортировать по зернистости.

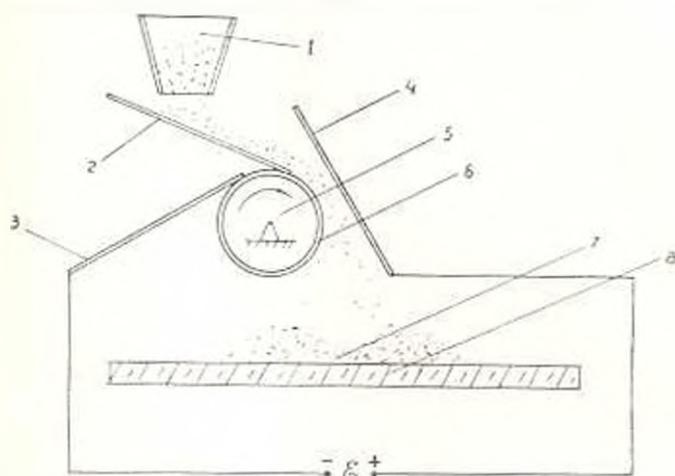


Рис. 4. Отклонение зерен SiC в электростатическом поле ($U = 7 - 10$ кВ) в зависимости от величины удельного сопротивления: 1 — бункер, 2 — направляющая, 3 — прижимной контакт, 4 — первый электрод (плоскость), 5 — изоляционный цилиндр, 6 — второй электрод (оплетка цилиндра), 7 — насыпь отклоненного порошка, 8 — подставка.

В табл. 1 приведены некоторые значения такой сортировки для разных смесей порошков при удельном давлении на порошок порядка 1000 кг/см^2 .

Предварительно экспериментальным путем необходимо установить, какой granulометрии и смеси порошков, а также какому удельному сопротивлению соответствует требуемый типонминал изделия (НПС), после чего проводить сортировку по ρ . Практически удобно перейти от определения величины удельного сопротивления к токам, по значениям которых и сортировать порошки. На рис. 5 приведена схема для определения ρ . Прессформа для загрузки порошка взята цилиндрической формы с внутренним диаметром d .

Величину тока можно вычислить по соотношению

$$I = E \cdot \frac{S}{\rho}, \quad (3)$$

где S — сечение порошка в прессформе; E — напряженность поля.

В табл. 1 приведены значения токов, полученные при внутреннем диаметре прессформы $d = 21$ мм. При этом показание монотера должно быть

$$U_1 = \frac{I}{S_1}, \quad (4)$$

Таблица 1

Зернистость	Удельное сопротивление $\cdot 10^4$ Ом·см		Величины l , мм	
	$E=309$ в.с.м.	$E=150$ в.с.м.	300 в.с.м.	150 в.с.м.
20-63 мк-40° _н , ниже 50 мк-60° _н	0,8-1,2	1,8-2,2	8,6-13,0	2,1-2,9
50-63 мк-35° _н , ниже 50 мк-65° _н	1,2-1,6	2,2-2,6	6,5-8,7	2,0-2,4
50-63 мк-10° _н , ниже 50 мк-90° _н	3,0-3,5	6,0-6,5	3,0-3,5	0,7-0,8
50-63 мк-2° _н , ниже 50 мк-100° _н	4,2-4,6	7,5-8,2	2,3-2,5	0,5-0,7
50-61 мк-42° _н , ниже 50 мк-57° _н	1,0-1,5	2,0-2,0	7,0-10,4	2,0-2,6
50-63 мк-17° _н , ниже 50 мк-57° _н	2,2-2,8	4-4,5	3,7-4,7	1,1-1,3
50-63 мк-8° _н , ниже 50 мк-92° _н	3,2-4,2	7,0-7,5	2,5-3,3	0,7-0,8
80-125 мк-100° _н	0,1-0,3	0,2-0,5		

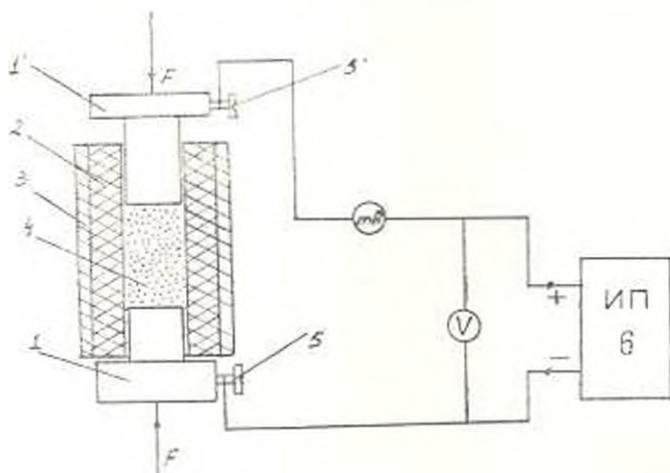


Рис. 5. Схема определения удельного сопротивления карбида кремния: *иП* — источник питания, *1-1'* — нижний и верхний электроды, *2* — текстолитовая итулка, *3* — цилиндрическая обтяжка, *4* — порошок SiC в прессформе, *5-5'* — зажимные винты.

$$F = p \frac{\pi d^2}{4} S_1$$

S_1 — площадь поперечного сечения поршня гидропресса. В ином случае $S_1 = 94$ см², а величина подаваемого на прессформу напряжения:

$$U = EI, \quad (5)$$

где l — толщина слоя порошка.

В ряде случаев может оказаться, что порошок не обеспечивает требуемого тока, т. е. удельного сопротивления. В этом случае необходимо предварительно обработать порошок. Если зернистость большая, порошок необходимо домолоть. Лучшие условия помола по однородности выхода обеспечивают вибрационные шаровые мельницы сухого помола, менее удачными являются валковые шаровые мельницы вследствие широкой градации выхода по зернистости. Помол производится при помощи фарфоровых или карборундовых шаров, при этом количество применяемых шаров обратно пропорционально кубу их диаметров. На качестве помола сказывается соотношение между шарами и измельченным материалом, а также степень заполнения ими мельницы.

Желательно брать степень заполнения 0,6—0,8, при этом соотношение объемов шаров и порошка карборунда равно 4:1. Для получения на вибромельнице тонины порядка 50 мк необходимо обеспечить частоту колебаний около 50 герц.

Иногда может оказаться, что коэффициент нелинейности β слишком занижен ($\beta < 3$). Это может быть из-за излишнее большого количества примесей железа (более 0,5% в пересчете на Fe_2O_3). В этом случае карборунд подлежит химической обработке кислотами (HF и H_2SO_4). Железо шунтирует кристаллики, уменьшая нелинейность. Серная кислота окисляет железо, а плавиковая — растворяет. Применя-

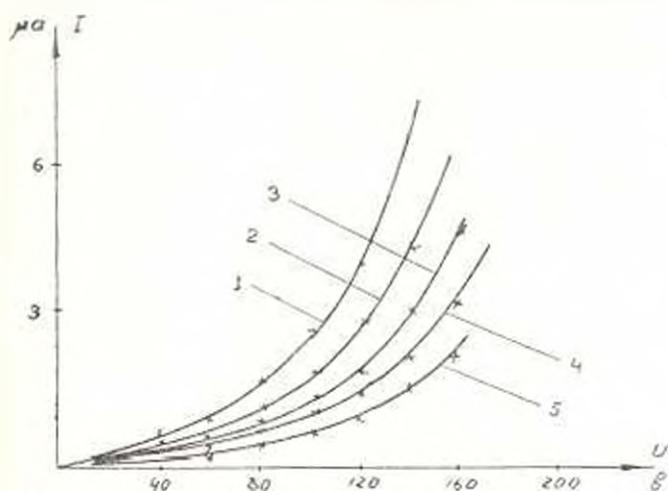


Рис. 6. Вольт-амперные характеристики с прессованных порошков SiC ($P = 1000 \text{ кг/см}^2$) одинаковой зернистости, обработанных кислотами: 1 — HF , 2 — необработанный, 3 — H_2SO_4 — 5%, 4 — H_2SO_4 — 15%, 5 — H_2SO_4 — конц.

ние одной только кислоты (HF или H_2SO_4) не обеспечивает должной очистки. Так серная кислота создает дополнительный слой оксида SiO_2 на кристаллах SiC , что увеличивает величину ρ . Этот слой может быть снят только плавиковой кислотой. С другой стороны кислота

HF не обеспечит должного окисления и очистки от примесей будет не качественной.

На рис. 6 показано воздействие каждой из кислот. Операция химического обогащения может быть не проведена, если исходный электротехнический карбид кремния удовлетворяет составу: SiC не менее 94%, $\text{Si}-\text{SiO}_2$ не более 3%, Fe_2O_3 0,5%, C —0,5%.

Карбид кремния черного цвета р-типа проводимости. Избыточное содержание свободного кремния (Si) меняет тип проводимости. Порошок по цвету приближается к зеленому. Избыток кремния окисляется и удаляется кислотами, а свободного углерода — промывкой в керосине.

Несмотря на свою простоту, метод сортировки карбида кремния по ρ имеет и недостатки (технически трудно проводить точные замеры параметров порошка SiC , находящегося под давлением; прессформа иногда заедает и создает неудобства в работе; порошок должен быть однородным по составу и зрнистости). Несмотря на это, приведенный метод может найти практическое применение.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 15.III.1967.

Ա. Ա. ԳՐԻԳՐՅԱՆ

ՍԵԼԵԿՏԻՐՈՒ ՎՈՐՐԵՒԻ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿՐԵՄՆԻՔԱՆ ԲՈՐՇՄԱՆ
ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՎԱՐԻՍՏՐՈՒՆԵՐԻ ԱՆՇՐԱԺԵՇՏ ԿՈՄՔԵՆԱՆԵՐԻ ՄՏԱՅՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Տ

Հոդվածում տրված է SiC -ի փոշին բառատիպավորության տեսակետից բնութագրելու մեթոդիկան և հաշվարկը՝ մեխանիկական ու էլեկտրական բնագավորումների տակ նրա տեսակարար դիֆուզիոն պրոցեսի հիման վրա: Բերված է փոշու էլեկտրատատկական տեսակավորման մեթոդիկան: Ներկայացված են փոշիները թիուներով նախնական մշակման ենթարկելու պայմանները նրանց ոչ-դժայնդիան պրժակիցը մեծացնելու նպատակով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Пастыков В. В., Сивильев Г. А., Чиркин А. К. Нелинейные полупроводниковые сопротивления и их применение. М., 1962.
2. Зогородицкий И. И., Пастыков В. В., Радомыргина, М., 1965.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Т. А. НАЛЧАДЖЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ
 МЕТОДОМ «ОПТИМУМА НОМИНАЛА»

В 1956 г. был предложен метод „активного“ вмешательства в случайный процесс [1]. Решение задачи оптимизации по этому методу дает возможность выбрать оптимальную комбинацию управляющихся параметров с учетом „стоимостей“ распределений этих параметров, причем значения оптимальных параметров всегда находятся в пределах технологических допусков. Идея метода, следуя [1], поясним на следующем простейшем примере. Пусть имеются две полосы 1 и 2, расположенные на расстоянии C друг от друга, и на эти полосы попадают случайные величины. Принимаем, что попадание имеет нормальное распределение плотности вероятностей. Допустим также, что попадание в полосу 1 желательно, а в полосу 2 — нежелательно. Обычно система настраивается таким образом, что центр распределения совпадает с центром полосы 1 (сплошная кривая на рис. 1). Определяем смещение x_0 точки настройки системы, при котором разность вероятностей $p_1 - p_2$ попадания случайной величины в полосы 1 и 2 была бы наибольшей (обоснование выбора этого критерия см. в [1]). Если нормальный закон нормирован и все величины рассматриваются относительно среднеквадратической ошибки σ , то

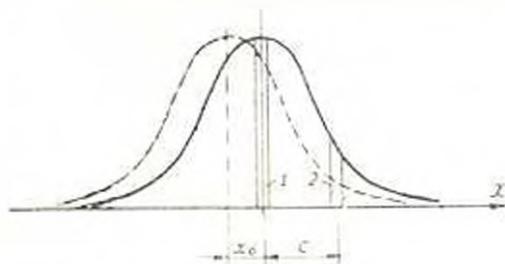


Рис. 1.

$$p_1 - p_2 = \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}} \left(e^{-\frac{x_0^2}{2}} - e^{-\frac{(x_0+C)^2}{2}} \right), \quad (1)$$

где α — относительная величина ширины полос, внутри которой плотность вероятностей постоянна.

Разность $p_1 - p_2$ достигает максимума при

$$x_0 = \frac{1}{C} \ln \frac{x_0 - C}{x_0} - \frac{C}{2}. \quad (2)$$

А если учитывать также относительные „стоимости“ этих полос, принимая для полосы 1 стоимость за единицу, а для полосы 2 за b единиц, разность вероятностей при этом будет

$$p_1 - bp_2 = \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}} \left(e^{-\frac{x_0^2}{2}} - be^{-\frac{(x_0-b)^2}{2}} \right), \quad (1')$$

которая достигает своего максимального значения при условии

$$x_0 = \frac{1}{c} \ln \frac{x_0 + c}{x_0} - \frac{c}{2} + \frac{\ln b}{c}. \quad (2')$$

В соответствии с (2') на рис. 2 приведено семейство кривых при различных значениях b .

Если же допустить, что ширина полос τ_1 и τ_2 не равна между собой, а плотности вероятностей постоянны, и кроме того, стоимости полос равны соответственно b_1 и b_2 , то разность вероятностей с соответствующими стоимостями

$$b_1 p_1 - b_2 p_2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(x_1 b_1 e^{-\frac{x_1^2}{2}} - \tau_2 b_2 e^{-\frac{(x_1-c)^2}{2}} \right) \quad (3)$$

достигает экстремума, когда

$$x_0 = \left\{ \left[\left(\frac{1}{c} \ln \frac{x_0 + c}{x_0} - \frac{c}{2} \right) + \frac{1}{c} \ln \frac{b_2}{b_1} \right] + \frac{1}{c} \ln \frac{b_2}{b_1} \right\}. \quad (4)$$

Нетрудно заметить, что полученные выше решения (2) и (2') являются частными случаями уравнения (4).

Если же ширины полос конечны и равны соответственно a_1

и a_2 , внутри которых действует нормальный закон распределения, x_0 ищется из условия

$$b_1 \left(e^{-\frac{(x_0-a_1)^2}{2}} - e^{-\frac{x_0^2}{2}} \right) - b_2 \left(e^{-\frac{(x_0-c-a_2)^2}{2}} - e^{-\frac{(x_0+c)^2}{2}} \right) = 0. \quad (5)$$

Откуда при известных a_1 , a_2 , c , b_1 и b_2 можно определить значение смещения x_0 . Формула (5) получена для случая двух полос. Для n полос, у которых относительная ширина равна a_i ($i=1, 2, \dots, n$), а смещение определенного края i -й полосы от условной линии отсчета (например, от края первой полосы) равно c_i и стоимость i -й полосы

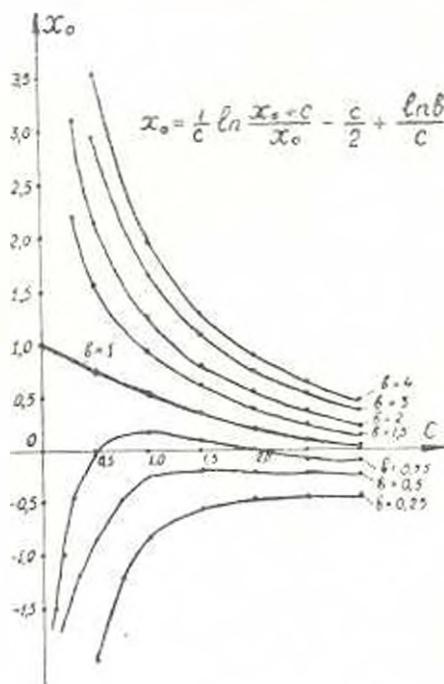


Рис. 2.

равна b_i . аналогичным образом можно вывести следующую формулу для определения смещения x_0

$$\sum_{i=1}^n b_i \left(e^{-\frac{(x_0 + r_i + a_i)^2}{2}} - e^{-\frac{(x_0 - r_i)^2}{2}} \right) = 0. \quad (6)$$

Выше рассматривалась одномерная задача. Рассмотрим задачу при двух случайных величинах x и y . Предположим, что имеем взаимное расположение группы объектов с соответствующими площадями s_1, s_2, \dots, s_n и двухмерный закон распределения $f(x, y)$ попадания случайных величин x и y . Принимаем, что площади объектов относительные, т. е.

$$s_i \approx \frac{\Delta x_i \cdot \Delta y_i}{\Delta x \Delta y}$$

и настолько малы, что внутри них плотности вероятностей можно считать постоянными. Обозначим через x_i и y_i координаты центров объектов от начала координат и через x_0 и y_0 искомые оптимальные значения смещений центра распределения в системе координат x, y . Принимаем также, что координатные оси параллельны направлениям главных осей распределения. Рассмотрим функцию двух переменных

$$\varphi(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n b_i s_i f(x_i - x_0, y_i - y_0), \quad (7)$$

которая достигает своего экстремального значения, когда

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x_0, y_0)}{\partial x_0} &= \sum_{i=1}^n b_i s_i \frac{\partial f(x_i - x_0, y_i - y_0)}{\partial x_0} = 0, \\ \frac{\partial \varphi(x_0, y_0)}{\partial y_0} &= \sum_{i=1}^n b_i s_i \frac{\partial f(x_i - x_0, y_i - y_0)}{\partial y_0} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Из этой системы уравнений определяются координаты x_0 и y_0 .

При n случайных величинах можно вывести аналогичную формулу для определения оптимальных координат центра распределения x_0, y_0, \dots, t_0 . При этом требуется максимизация следующего выражения

$$\varphi(x_0, y_0, \dots, t_0) = \sum_{i=1}^n b_i R_i f(x_i - x_0, y_i - y_0, \dots, t_i - t_0), \quad (9)$$

где $f(x, y, \dots, t)$ закон распределения случайных величин в n -мерном пространстве, b_i — стоимости каждого объекта, R_i — обобщенные объемы объектов. Для определения искомых координат x_0, y_0, \dots, t_0 необходимо решить следующую систему, состоящую из n уравнений:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \varphi(x_0, y_0, \dots, t_0)}{\partial x_0} &= \frac{\partial \sum_{i=1}^n b_i R_i f(x_i - x_0, y_i - y_0, \dots, t_i - t_0)}{\partial x_0} = 0; \\
 \frac{\partial \varphi(x_0, y_0, \dots, t_0)}{\partial y_0} &= \frac{\partial \sum_{i=1}^n b_i R_i f(x_i - x_0, y_i - y_0, \dots, t_i - t_0)}{\partial y_0} = 0; \\
 &\dots \dots \dots \\
 \frac{\partial \varphi(x_0, y_0, \dots, t_0)}{\partial t_0} &= \frac{\partial \sum_{i=1}^n b_i R_i f(x_i - x_0, y_i - y_0, \dots, t_i - t_0)}{\partial t_0} = 0.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Условия (10) являются необходимыми, но недостаточными для существования экстремума функции $\varphi(x_0, y_0, \dots, t_0)$ в точке с координатами $(x + x_0, y + y_0, \dots, t + t_0)$, поэтому следует провести дополнительное исследование экстремума.

Если размеры „объектов“ не позволяют с необходимой точностью полагать, что плотность вероятностей постоянна внутри этих областей, то задача определения оптимальных координат усложняется, так как приходится определять такие значения x_0, y_0, \dots, t_0 , при которых достигается своего экстремального значения функция

$$\varphi(x_0, y_0, \dots, t_0) = \sum_{i=1}^n b_i \iint_{R_i} \dots \int f(x - x_0, y - y_0, \dots, t - t_0) dx dy \dots dt. \tag{11}$$

Значения x_0, y_0, \dots, t_0 удастся определить из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n b_i \iint_{R_i} \dots \int \frac{\partial}{\partial x_0} f(x - x_0, y - y_0, \dots, t - t_0) dx dy \dots dt &= 0; \\
 \sum_{i=1}^n b_i \iint_{R_i} \dots \int \frac{\partial}{\partial y_0} f(x - x_0, y - y_0, \dots, t - t_0) dx dy \dots dt &= 0; \\
 &\dots \dots \dots \\
 \sum_{i=1}^n b_i \iint_{R_i} \dots \int \frac{\partial}{\partial t_0} f(x - x_0, y - y_0, \dots, t - t_0) dx dy \dots dt &= 0.
 \end{aligned} \tag{12}$$

В системе (12) интегрирование ведется по обобщенным объемам объектов R_i .

В заключение отметим, что изложенная методика разработана в [1] как для дискретных значений стоимостей b_i , так и для непрерывных функций $b(x, y, \dots, t)$.

Для сложных систем с n параметрами могут служить параметрами, например, давления в химических аппаратах, температуры, расходы

сырья, составы газовых смесей, качество и количество продукции и т. п., принятая комбинация которых даст определенный экономический эффект. В большинстве случаев с достаточным основанием можно принять вероятностный характер этих параметров. Поэтому решение задач изложенным методом позволяет определить такую новую комбинацию управляемых параметров, при которой эффективность процесса достигает максимума. А если управляемые параметры являются функциями времени, то оптимальные смещения оказываются некоторыми функциями времени (оптимальными программами управления), которые определяются решением вариационных задач.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 12.V.1967.

Խ. Ա. ԱՎԱԶԻԱՆ

«ՆՈՐՄԱԿԻ ՕՊՏԻՄԱԼՄ» ՄԵԹՈԴԻՆԻ ՍԻՍՏԵՄՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԿԱԶԻՄԱՆ
ՈՐՈՇ ԶԱՐԵՆԵՐԸ

Ա. Վ. Ո Ւ Փ Ո Ւ Մ

Հարվածում ստաչարկում է ախտմատ և ոչ ախտմատ սխեմաների աշխատանքի էֆեկտիվության բարձրացման այնպիսի մատեցում, որն, ի տարբերություն դոչուբյուն ունեցող այլ մեթոդների, չի պահանջում ոչ կապիտալ ներդրումներ, ոչ էլ կանստրուկտիվ փոփոխություններ: Մեթոդը կիրառելի է մասսայական արտադրանք թողարկող բազմապիսի տեխնոլոգիական պրոցեսների համար, որոնց մատրաչին և էլբաչին պարամետրներն ունեն հավակունական բնութագրեր:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Свечарник Д. В. Задача об оптимуме номинала при вероятностных расчетах. Тр. института машиноведения АН СССР, вып. 10, М., 1957.
2. Венцель Е. С. Теория вероятностей. М., 1964.

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОТЕХНИКА

А. К. АНАНЯН, С. М. КАЗАРЯН

К РАСЧЕТУ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА
 В МНОГОСЛОЙНОЙ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СРЕДЕ

Настоящая статья является продолжением [1], в которой получены следующие уравнения для определения понижения уровня подземных вод в двухслойной, гидравлически связанной фильтрующей среде, с учетом инфильтрации поверхностных вод и переменном режиме налива или откачки из вертикального дренажа

$$S_1(r, t) = \varphi_1(H) - \frac{Q_0}{r_0 m_2 k_2} \varphi_1(\rho); \quad (1)$$

$$S_2(r, t) = \varphi_2(H) - \frac{Q_0}{r_0 m_2 k_2} \varphi_2(\rho).$$

где

$S_1(r, t)$ и $S_2(r, t)$ — относительные понижения соответственного I и II водоносного горизонта;

$\varphi_1(H)$ и $\varphi_2(H)$ — постоянные функции (относительно r), которые зависят от гидрогеологических условий и времени;

$\varphi_1(\rho)$ и $\varphi_2(\rho)$ — функции, которые зависят от r , гидрогеологических условий и времени;

Q_0 — расход скважины в начальный момент самоизлива;

r_0 — радиус скважины;

m_2 — мощность n -го водоносного слоя;

k_2 — коэффициент фильтрации того же слоя.

Функции $\varphi_1(H)$, $\varphi_2(H)$, $\varphi_1(\rho)$ и $\varphi_2(\rho)$ табулированы при различных гидрогеологических условиях. Ниже приводятся параметры, которые характеризуют гидрогеологические условия пластов и значения указанных функций, при широком диапазоне изменения параметров

$$a_1^2 = \frac{m_1 k_1}{\mu_1}; \quad \delta_1^2 = \frac{t_0}{k_1 \mu_1}; \quad b_1^2 = \frac{t_1}{h_1 \mu_1}; \quad (2)$$

$$a_2^2 = \frac{m_2 k_2}{\mu_2}; \quad b_2^2 = \frac{t_2}{h_2 \mu_2}; \quad \bar{e} = \frac{\bar{z}}{\mu_1}.$$

где

μ_n — коэффициент упругой водоотдачи n -го хорошо проницаемого слоя;

m_n — мощность того же слоя;

k_n — коэффициент фильтрации того же слоя;

λ_n — коэффициент n -го плохо проницаемого слоя;

h_n — мощность того же слоя;

ε — интенсивность инфильтрации;

H_n — пьезометрический напор n -го хорошо проницаемого слоя.

В табл. 1 приведены параметры гидрогеологических условий.

Таблица 1

Вариан- ты	П а р а м е т р ы						
	$\frac{d_1^2}{l}$ сут	$\frac{d_1^2}{m^2}$ сут	$\frac{d_2^2}{d_1^2}$	$\frac{b_0^2}{b_1^2}$	$\frac{b_1^2}{d_1^2}$	$\frac{d_2^2}{d_1^2}$	$\frac{\varepsilon}{l}$ сут
I	0,001	1000	20	10	5	0	0,0157
II	0,001	1000	25	20	10	1	0,0312
III	0,001	1000	40	30	30	10	0,0612
IV	0,001	1000	20	100	5	0	0,5524
V	0,005	2000	20	10	5	0	0,0785
VI	0,005	2000	25	20	10	1	0,1560
VII	0,005	2000	40	30	30	10	0,3062
VIII	1,0	4000	20	10	5	0	15,7478
IX	1,0	4000	25	20	10	1	31,1823
X	1,0	4000	40	30	30	10	61,2755
XI	0,001	2000	120	10	3	0	0,0130

Числовые величины функций $\varphi_1(H)$ и $\varphi_2(H)$ применительно к Араратской долине (XI вариант) при $H_0 = 0$, $H_1 = -2$ м, $H_2 = -21$ м, $H_3 = 25$ м приведены в табл. 2.

Таблица 2

l сут	1	5	10	15	20	50	100
---------	---	---	----	----	----	----	-----

$$\bar{r} = 0,1$$

$\varphi_1(H)$	-27,174	-27,858	-28,587	-29,485	-30,251	-31,351	-39,645
$\varphi_2(H)$	-4,780	-7,813	-11,409	-14,801	-18,000	-33,703	-50,130

$$\bar{r} = 0,1$$

$\varphi_1(H)$	-27,054	-27,268	-27,521	-27,768	-28,001	-29,193	-30,593
$\varphi_2(H)$	-4,363	-5,773	-7,449	-9,030	-10,524	-17,890	-25,704

$$\bar{r} = 0,01$$

$\varphi_1(H)$	-27,016	-27,091	-27,171	-27,253	-27,325	-27,644	-27,877
$\varphi_2(H)$	-4,238	-5,162	-6,261	-7,299	-8,281	-13,146	-18,376

Числовые величины функций $\varphi_1(r)$ и $\varphi_2(r)$ для нечетных вариантов приведены в табл. 3.

Ниже на примере гидрогеологических изысканий ПНИИИС-а [Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве при Госстрое СССР], проведенных в центральной части Араратской равнины (скважина № 1), иллюстрируется способ расчета, изложенный в [1].

На основании данных таблиц 2 и 3 построены кривые, с по-

Таблица 3

r (м)	0,25	5	50	100	600
1	2	3	4	5	6
I вариант; $t = 1$ сутки					
φ_1 (°)	-0,0295	-0,0172	-0,0078	-0,0051	-0,0011
φ_2 (°)	-0,3619	-0,2693	-0,1883	-0,1141	+0,0950
$t = 5$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0292	-0,0172	-0,0050	-0,0051	-0,0010
φ_2 (°)	+0,2348	+0,2043	-0,1332	+0,1078	+0,0050
$t = 50$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0237	-0,0143	-0,0071	-0,0050	-0,0005
φ_2 (°)	-0,1835	+0,1132	-0,0593	+0,0131	-0,0050
$t = 100$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0180	-0,0109	-0,0055	-0,0039	-0,0005
φ_2 (°)	-0,1359	-0,0827	-0,0120	-0,0301	+0,0059
III вариант; $t = 1$ сутки					
φ_1 (°)	-0,0046	-0,0008	-0,0004	-0,0001	-0,0001
φ_2 (°)	-0,2652	-0,1055	+0,0679	-0,0039	-0,0028
$t = 5$ сут.					
φ_1 (°)	-0,00457	-0,0009	-0,0005	-0,0001	-0,0001
φ_2 (°)	-0,2097	+0,0613	-0,0412	-0,0023	-0,0017
$t = 50$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0037	-0,0008	-0,0005	-0,000	-0,0
φ_2 (°)	-0,1472	-0,0328	+0,0194	+0,0007	+0,0001
$t = 100$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0028	-0,0006	-0,0004	-0,0001	0,0001
φ_2 (°)	+0,1113	-0,0248	-0,0147	-0,0005	+0,0001
V вариант; $t = 1$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0186	-0,0105	-0,0037	-0,0022	-0,0004
φ_2 (°)	-0,2912	+0,1937	-0,1132	-0,0811	-0,0049
$t = 5$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0190	-0,0107	-0,0038	-0,0026	-0,0003
φ_2 (°)	+0,2428	+0,1416	-0,0697	0,0477	-0,0012
$t = 50$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0151	-0,0086	-0,0037	-0,0023	-0,0001
φ_2 (°)	-0,1779	-0,1016	-0,0137	-0,0275	-0,0012
$t = 100$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0114	-0,0065	-0,0023	-0,0018	-0,0001
φ_2 (°)	-0,1345	-0,0768	-0,0330	-0,0258	-0,0016
VI вариант; $t = 1$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0011	-0,0021	-0,0006	-0,0003	-0,0001
φ_2 (°)	0,2042	+0,1160	+0,0483	-0,0264	-0,0015
$t = 5$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0011	-0,0021	-0,0007	-0,0003	0,0000
φ_2 (°)	+0,1809	-0,0947	+0,0309	-0,0154	0,0002
$t = 50$ сут.					
φ_1 (°)	-0,0032	-0,0017	-0,0005	-0,0003	0,0000
φ_2 (°)	-0,1401	+0,0732	0,0236	+0,0116	+0,0001

Продолж. табл. 3

1	2	3	4	5	6
$t = 100$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,0021	-0,0013	-0,0004	-0,0002	0,000
$\varphi_2(\rho)$	-0,1060	+0,0553	-0,0179	0,0088	0,000
IX вариант; $t = 1$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,0057	-0,0018	-0,0011	-0,0001	-0,0001
$\varphi_2(\rho)$	-0,1430	-0,0451	-0,0011	-0,000	-0,0001
$t = 5$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,0055	-0,0017	-0,0011	-0,000	-0,0001
$\varphi_2(\rho)$	-0,1399	-0,0441	-0,0011	-0,000	-0,0001
$t = 50$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,0043	-0,0014	-0,0011	0,000	-0,0001
$\varphi_2(\rho)$	-0,1087	-0,0343	+0,0008	-0,000	-0,0001
$t = 100$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,0033	-0,0010	-0,0000	0,000	-0,0001
$\varphi_2(\rho)$	-0,0821	+0,0259	-0,0000	+0,000	-0,0001
XI вариант; $t = 1$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,0413	-0,0252	-0,0120	-0,0093	-0,0021
$\varphi_2(\rho)$	-0,4117	+0,3089	-0,2245	+0,1867	-0,0295
$t = 5$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,141	-0,0251	-0,0130	-0,0095	-0,0021
$\varphi_2(\rho)$	+0,3442	+0,2427	-0,1646	+0,1388	+0,0295
$t = 50$ сут.					
$\varphi_1(\rho)$	-0,0328	-0,0206	-0,0111	-0,0084	-0,0021
$\varphi_2(\rho)$	0,2172	+0,1398	+0,0800	+0,0620	-0,0179

мощью которых можно получить значения функций $\varphi_1(H)$, $\varphi_2(H)$, $\Phi_1(\rho)$ и $\Phi_2(\rho)$ при любых значениях t и r .

Геологический разрез скважины № 1 показан на рис. 1. Характеристики гидрогеологических условий представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

h_0 , м	h_1 , м	h_2 , м	\bar{m}_1 , м	\bar{m}_2 , м	λ_0 , м/сут	λ_1 , м/сут	λ_2 , м/сут	k_1 , м/сут	k_2 , м/сут
22	42	5-50	6	80	0,05	0,005	0	50	120

Таблица 5

H_0 , м	H_1 , м	H_2 , м	H_3 , м	φ_1	φ_2
0	-2	+21	-25	0,1-0,15	0,01-0,04

По формуле (2) на основании данных, приведенных в таблицах 4 и 5, вычислены гидрогеологические параметры, приведенные в табл. 6.

Данные табл. 6 соответствуют XI варианту гидрогеологических условий Араратской долины (см. табл. 1, вариант XI).

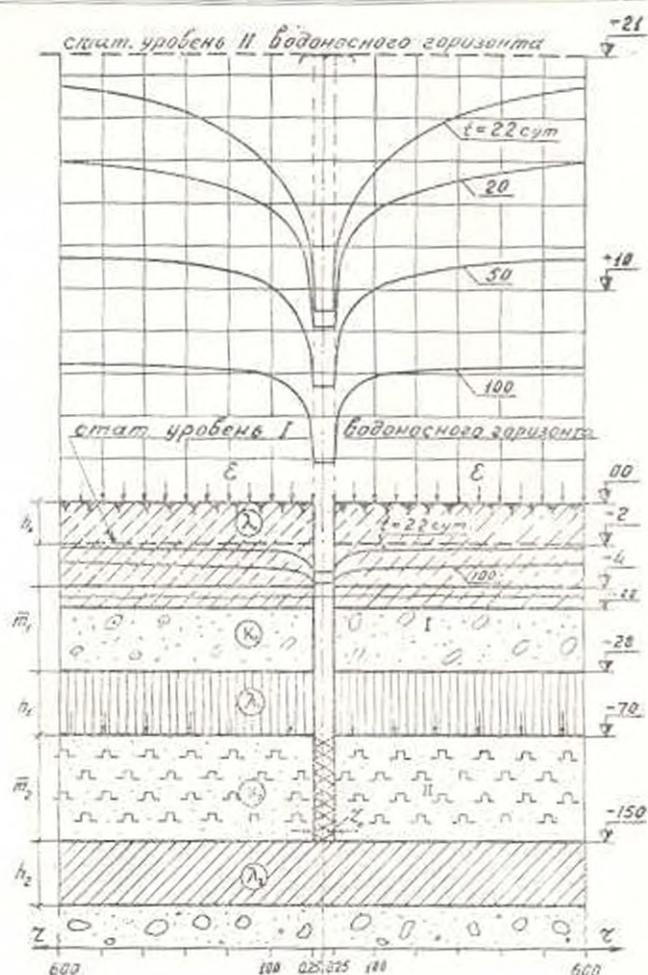


Рис. 1.

Таблица 6

$\frac{a_1^2}{\text{сут}}$	$\frac{a_2^2}{\text{сут}}$	$\frac{a_2^2}{a_1^2}$	$\frac{\mu_2^2}{\text{сут}}$	$\frac{b_1^2}{\text{сут}}$	$\frac{b_1^2}{\text{сут}}$	$\frac{\mu_2^2}{\text{сут}}$	$\frac{\mu_2^2}{\text{сут}}$	$\frac{b_1^2}{b_1^2}$	$\frac{b_2^2}{b_1^2}$
2000	240000	120	0,01	0,001	0,003	0	30	3	0

На основании данных, приведенных в таблицах 1—5, вычислены величины понижения уровня первого и второго водоносных горизонтов при $(Q_0 = 550) \text{ л/сек}$ и $\frac{Q_0}{r_0 \mu_2 \lambda_2} = 30$.

Эти данные приведены в табл. 7, где

$$H_1(r, t) = S_1(r, t) + H_3(r, 0); S_{1n}(r, t) = H_1(r, 0) - H_1(r, t);$$

$$H_2(r, t) = S_2(r, t) - H_1(r, 0); S_{2n}(r, t) = H_2(r, 0) - H_2(r, t);$$

$$H_1(r, 0) = -2 \text{ м}; H_2(r, 0) = -21 \text{ м}; H_3(r, 0) = -25 \text{ м};$$

$$\bar{e} = 0,01, t = 2,4 \text{ сут}, \varphi_1(H) = -27,150, \varphi_2(H) = -4,567.$$

Таблица 7

r (м)	0,25	5	50	100	600
$\varphi_1(\rho)$	-0,0410	-0,0232	-0,0129	-0,0094	-0,0021
$30 \varphi_1(\rho)$	-1,230	-0,756	-0,387	-0,282	-0,063
$S_1(r, t)$	-28,280	27,806	27,437	-27,332	-27,113
$H_1(r, t)$	-3,260	2,806	-2,437	-2,332	-2,113
$S_{1n}(r, t)$	1,280	0,806	0,437	0,332	0,113
$\varphi_2(\rho)$	0,3843	0,2824	0,2000	0,1675	0,0295
$30 \varphi_2(\rho)$	11,529	8,472	6,000	5,025	0,885
$S_2(r, t)$	-16,096	-13,030	-10,567	-9,592	-5,452
$H_2(r, t)$	8,904	11,961	14,433	15,408	19,548
$S_{2n}(r, t)$	12,096	9,039	6,567	5,592	1,452

Аналогично вычислены кривые депрессии при $t = 20, 50$ и 100 суток (см. рис. 1).

Зависимость понижения уровня подземных вод в скважине № 1 от расхода показана на рис. 2.

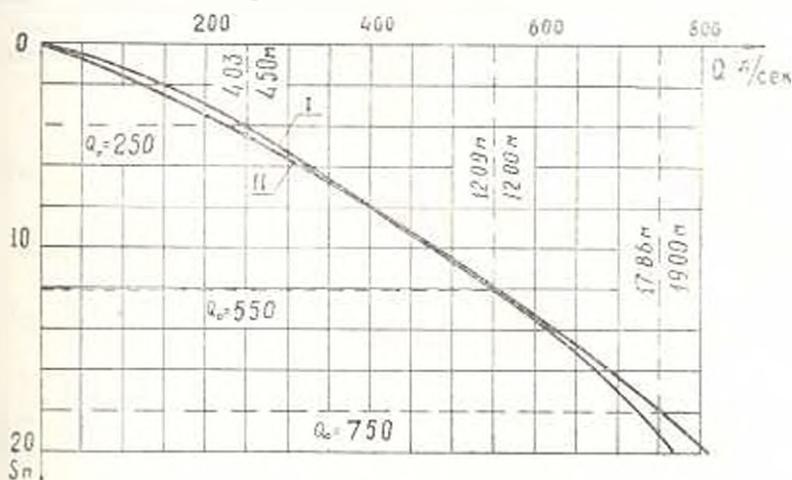


Рис. 2.

Здесь кривая I — расчетная, а кривая II — опытная. Как видно из рисунка, между ними наблюдается удовлетворительная сходимость.

ԲԱԶՄԱՆՆԵՐՍ ԳԵՏՐԱԿՆԻՈՆ ՄԵԶՈՎԱՅՐՈՒՄ ՈՒՂՂԱԶԻԳ
ԳՐԻՆԱԺԻ ՀԱՆՎԱՐԿԻ ՇՈՒԲՁԸ

Ա մ փ ո թ ո ս օ

Տրված է հիդրավիկական կապի մեջ գտնվող բազմաշերտ ֆիլտրացիոն միջավայրում սուղածից գրենաժի հաշվարկի համար հեղինակների կողմից ստացված ֆունկցիաների աղյուսակավորումը:

Մերված են ուղղածից գրենաժից ցանկացած հեռավորության վրա և ժամանակի կամայական պահին ստորերկրյա ջրերի հորիզոնի իջեցման հաշվարկի կոնկրետ օրինակներ՝ ինքնաթափման կամ ջրհանման փոփոխական սեփականների դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Կամրյա Ս. Մ.* К вопросу неустановившегося притока подземных вод в многослойной фильтрующей среде. Изв. АН АрмССР (серия ТН), т. XX, № 4, 1967.
2. *Կամրյա Ս. Մ.* Неустановившийся приток подземных вод в многослойной фильтрующей среде при переменном расходе излива из скважины вертикального дренажа. Сб. научных трудов АрмСХИ, т. 15, Ереван, 1967.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Г Д АКОПДЖАНИ

К РАСЧЕТУ ШЕСТИПОЛЮСНИКОВ

При исследованиях режимов работы сложных электрических цепей, рассматриваемых в виде $2n$ — полюсников, часто возникают задачи, требующие определить величины и фазы напряжений на входных зажимах $2n$ — полюсника, по известным значениям активных и реактивных мощностей на зажимах и по заданным его параметрам. При представлении пассивного шестиполюсника параметрами Y мощности на его входных зажимах могут быть выражены при помощи следующих формул:

$$P_m = \sum_{k=1}^3 U_m U_k y_{mk} \cos (\psi_m - \psi_k + \varphi_{mk}),$$

$$Q_m = \sum_{k=1}^3 U_m U_k y_{mk} \sin (\psi_m - \psi_k + \varphi_{mk}), \quad (m = 1-3), \quad (1)$$

где P_m , Q_m — активная и реактивная мощности на m -той паре зажимов;

U_m , U_k — величины напряжений на m -той и k -той паре зажимов;

ψ_m , ψ_k — фазы указанных напряжений;

y_{mk} , φ_{mk} — модули и аргументы параметров Y шестиполюсника.

По формулам (1) легко определяются входные мощности при известных значениях параметров шестиполюсника и величин и фаз напряжений на его зажимах. Определение же величин и фаз напряжений по заданным входным мощностям и параметрам шестиполюсника вызывает некоторые трудности, так как при этом приходится решать систему трансцендентных уравнений.

В [1] указан способ решения уравнений $2n$ — полюсника, основанный на методе последовательных приближений. В настоящей статье излагается методика расчета величин и фаз напряжений шестиполюсника с нахождением всех возможных решений поставленной задачи. В уравнениях (1) неизвестными являются напряжения: U_1 , U_2 , U_3 , а также их фазы ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 .

Преобразуя эти уравнения с целью исключения из них неизвестных углов (ψ_1 , ψ_2 , ψ_3) относительно неизвестных x_1 , x_2 и x_3 , получаем систему из трех нелинейных уравнений

$$\sum_{k=1}^3 a_k x_k - K_m x_m - \frac{S_m^2}{x_m} = A_m, \quad (m = 1 \div 3). \quad (2)$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$x_m = U_m^2 \frac{y_{m+1} y_{m-2}}{y_{m-1} y_{m-2}}; \quad (3)$$

$$a_m = 1 - b_m \cos(\varphi_{mm} - \varphi_{m+1m}); \quad (4)$$

$$b_m = \frac{y_{mm} y_{m-1} y_{m+1}}{y_{m+1} y_{m-2} y_{m-1}}; \quad (5)$$

$$\varphi_{mm} = \varphi_{m+1m} - \varphi_{m-1m} - \varphi_{m-2m}; \quad (6)$$

$$K_m = 2a_m + b_m^2 - 1; \quad (7)$$

$$A_m = S_m [\cos(\varphi_{m+1} - \varphi_{m+1m}) - 2b_m \cos(\varphi_m - \varphi_{m+1m}) - S_{m-1} \cos(\varphi_{m-1} - \varphi_{m-1m}) - S_{m-2} \cos(\varphi_{m-2} - \varphi_{m-2m})]; \quad (8)$$

S_m — полная (кажущаяся) мощность на m -той паре зажимов шести-полюсника;

φ_m — сдвиг фаз между напряжением и током на m -тых зажимах шестиполюсника.

Числовые значения отдельных индексов m , $m+1$, $m+2$ не должны превышать число 3 и если при подстановке значений $m = 1 \div 3$, они получаются больше трех, то от их значений следует вычесть 3 и в качестве индекса записать полученную разность.

Обозначив в (2)

$$\sum_{k=1}^3 a_k x_k = t \quad (9)$$

и преобразовав их, получим:

$$K_m x_m^2 + (A_m - t) x_m - S_m = 0, \quad (m = 1 \div 3). \quad (10)$$

Решение полученной системы уравнений в общем виде представляет большие трудности.

При известных K_m , A_m , S_m решение уравнений производится следующим образом. Из (10) определяются x_1 , x_2 , x_3 в зависимости от t ; их значения подставляются в (9), в результате чего получаем

$$t^3 - \alpha_1 t^2 - \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^2 + \alpha_4 t^2 + \alpha_5 t^2 - \alpha_6 t^2 + \alpha_7 t + \alpha_8 = 0. \quad (11)$$

Корни уравнения (11) с достаточной точностью могут быть определены по методу [2]. Комплексные корни должны быть отброшены, так как t — величина действительная. Значения действительных корней подставляем в (10) и определяем неизвестные x_1 , x_2 , x_3 , причем для каждого из них получаем по два значения. Истинные значения этих неизвестных определяются с учетом (9). По известным значениям x_1 , x_2 , x_3 , воспользовавшись равенствами (3), находим величины напряжений U_1 , U_2 , U_3 на зажимах шестиполюсника. Далее пере-

ходим к определению фаз указанных напряжений. Для этого предварительно вычисляем:

$$S_{m+1} \cos \varphi_m = 0,5 [b_{m+2} x_{m+2} - x_m - x_{m+1} + \frac{S_{m+2}}{x_{m+2}} - 2b_{m+2} S_{m+2} \cos (\varphi_{m+2} - \varphi_{m+1})], \quad (m = 1 + 3), \quad (12)$$

а по ним:

$$S_{m+1} \sin \varphi_m = \frac{1}{x_m + S_{m+1} \cos \varphi_m + S_{m+2} \cos \varphi_{m+2} - \varphi_{m+1} + b_{m+2} x_{m+2} \sin (\varphi_{m+2} - \varphi_{m+1}) + S_{m+1} \cos \varphi_m - [S_{m+1} \sin (\varphi_{m+1} - \varphi_{m-1}) + b_{m+1} x_{m+1} \sin (\varphi_{m+1} - \varphi_{m-1})]}{x_m}. \quad (m = 1 + 3). \quad (13)$$

В записанных выражениях:

$$S_{m+1} = U_m U_{m+1} y_{m+1}, \quad (14)$$

$$\varphi_m = \varphi_m - \varphi_{m-1} - \varphi_{m-2} + \varphi_{m+1} \sigma - 2. \quad (15)$$

Наконец, имея числовые значения левых частей равенств (12) и (13), определяем тангенсы углов $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ и далее, на основании (15), вычисляем фазы напряжений на зажимах шестиполюсника $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 25.V.1967.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адони Г. Т. Многополюсник Изд. АН АрмССР. Ереван, 1965.
2. Крылов А. Н. Лекции о приближенных вычислениях. М., 1950.

Х. О ГЕВОРКЯН

О ПРИРОДЕ КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССОВ ОБЖИГА ФОСФОРА

Основными процессами образования структуры фарфора являются муллитизация и стеклообразование [1]. При обжиге в одной и той же температурной области одновременно протекают разные процессы, которые настолько тесно переплетаются друг с другом, что часто их трудно разграничить. По существу в экспериментальном исследовании измеряют лишь суммарное действие различных процессов. Отсюда возникает необходимость расчленения сложного взаимодействия на возможно более простые, элементарные процессы. Именно поэтому, изучая взаимодействие фаз в тройной системе каолин-кварц-полевой шпат, предварительно расчленяем его по двойным контактам — каолин-полевой шпат, кварц-полевой шпат и каолин-кварц. Для фарфорообразования наиболее существенное значение имеет взаимодействие фаз по контакту каолин-полевой шпат, который и рассматри-

ходим к определению фаз указанных напряжений. Для этого предварительно вычисляем:

$$S_{mm-1} \cos \varphi_m = 0,5 [b_{m-2} x_{m-2} - x_m - x_{m+1} + \frac{S_{m+2}}{x_{m-2}} - 2b_{m-2} S_{m+2} \cos (\varphi_{m-2} - \varphi_{m-1 m-1})], \quad (m=1+3), \quad (12)$$

а по ним:

$$S_{mm-1} \sin \varphi_m = \frac{1}{x_m + S_{mm-1} \cos \varphi_m + S_{m-2m} \cos \varphi_{m-2} - \varphi_{mm}} [S_m \sin (\varphi_m - \varphi_{m-1 m-1}) + b_m x_m \sin (\varphi_{mm} - \varphi_{m-1 m-1}) + S_{m-1} \cos \varphi_m - [S_{m-1} \sin (\varphi_{m+1} - \varphi_{m-1 m-1}) + b_{m-1} x_{m-1} \sin (\varphi_{m-1 m-1} - \varphi_{m-1 m-1})] x_m], \quad (m=1+3). \quad (13)$$

В записанных выражениях:

$$S_{mm-1} = U_m U_{mm-1} y_{mm-1}, \quad (14)$$

$$\varphi_m = \varphi_m - \varphi_{m-1} - \varphi_{m-2m} + \varphi_{m+1 m-2}. \quad (15)$$

Наконец, имея числовые значения левых частей равенств (12) и (13), определяем тангенсы углов $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ и далее, на основании (15), вычисляем фазы напряжений на зажимах шестиполюсника $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 25.V.1967.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адони Г. Т. Многополюсник Изд. АН АрмССР, Ереван, 1965.
2. Крылов А. Н. Лекции о приближенных вычислениях. М., 1950.

Х. О ГЕВОРКЯН

О ПРИРОДЕ КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССОВ ОБЖИГА ФОСФОРА

Основными процессами образования структуры фарфора являются муллитизация и стеклообразование [1]. При обжиге в одной и той же температурной области одновременно протекают разные процессы, которые настолько тесно переплетаются друг с другом, что часто их трудно разграничить. По существу в экспериментальном исследовании измеряют лишь суммарное действие различных процессов. Отсюда возникает необходимость расчленения сложного взаимодействия на возможно более простые, элементарные процессы. Именно поэтому, изучая взаимодействие фаз в тройной системе каолин-кварц-полевой шпат, предварительно расчленяем его по двойным контактам — каолин-полевой шпат, кварц-полевой шпат и каолин-кварц. Для фарфорообразования наиболее существенное значение имеет взаимодействие фаз по контакту каолин-полевой шпат, который и рассматри-

вается в настоящей работе. Была исследована масса, содержащая 60% Присяновского каолина и 40% Чупнинского полевого шпата (табл. 1).

Таблица 1

Материалы	Содержание окислов (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.н.
Каолин	46,69	37,42	0,44	0,79	0,55	0,12	0,80	13,35
Полевой шпат	64,24	19,10	0,10	0,19	0,17	2,48	12,51	0,71

После помола исходных материалов методом полусухого прессования были приготовлены образцы (1,0 × 1,0 × 0,5 см), которые обжигались при температуре 950, 1050, 1150, 1200, 1250, 1300, 1350, 1400°С со скоростью нагрева 3° в минуту и выдержкой 150 минут. Для обожженных образцов было выполнено петрографическое и рентгенографическое исследование, а также измерение физических характеристик (рис. 1).

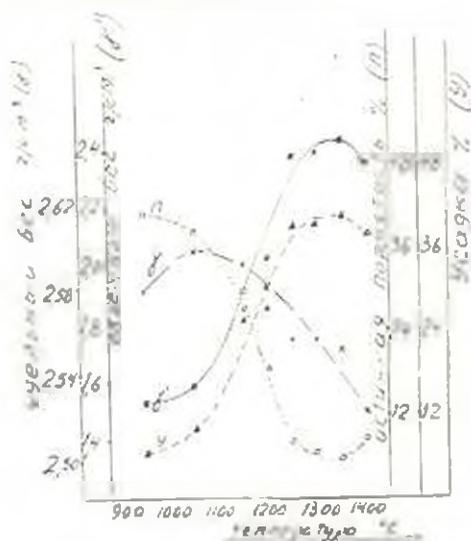


Рис. 1. Зависимость физических свойств массы от температуры обжига.

На основании экспериментальных данных было установлено, что спекание массы начинается после 1100°С, что сопровождается уменьшением удельного веса. Максимальное уплотнение достигается при 1350°С, а последующее повышение температуры вызывает снижение объемного веса и рост пористости, что объясняется вторичным порообразованием. Полученные экспериментальные данные, а также ранее описанные наблюдения [2] дают возможность рассмотреть процесс обжига двухкомпонентной смеси, содержащей каолин и полевой шпат.

В начальной стадии обжига до 1100–1150°С происходят твердофазные процессы, главным образом термические изменения каолинита с образованием муллита и аморфного кремнезема (рис. 2-б). При дальнейшем повышении температуры происходит плавление полевого шпата; образованный при этом расплав, благодаря своей смачивающей способности вступает в адгезионное взаимодействие с твердыми частицами глинистого остатка; последний смачивается расплавом, который образует мениск и

под действием сил поверхностного натяжения жидкая фаза перемещается, вызывая некоторое смещение твердых частиц, которые стягиваются, обуславливая уменьшение пористости и уплотнение изделий (рис. 2-в). В этой начальной стадии плавления глубокого физико-химического взаимодействия фаз не происходит.

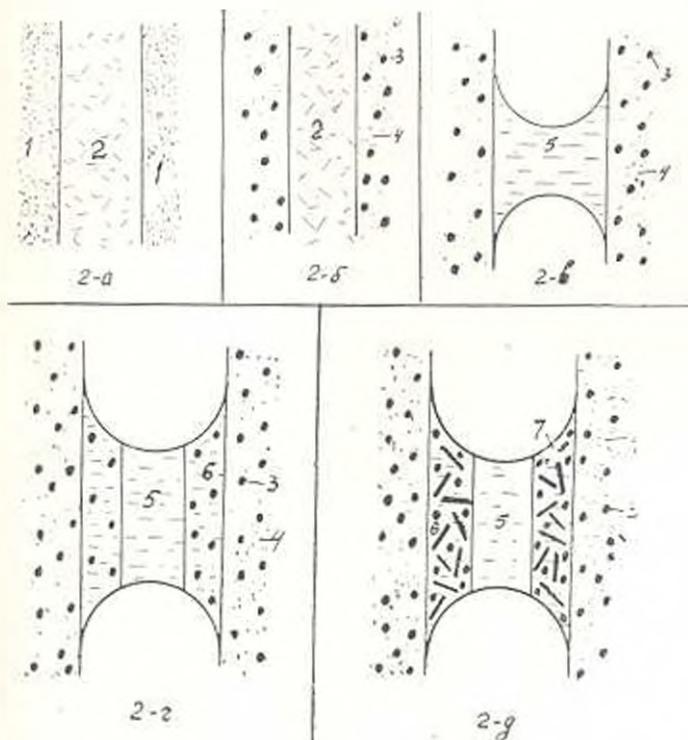


Рис. 2. Схема процессов обжига по контакту — каолин-полевой шпат: 1 — каолин; 2 — полевой шпат; 3 — первичный муллит; 4 — аморфный кремнезем; 5 — полевошпатовый расплав; 6 — кремнезем-полевошпатовый расплав; 7 — вторичный муллит.

В структуре фарфора наблюдается стекло, которое некоторыми авторами называется „глинистым“ [3], как образованное растворением глины в полевошпатовом расплаве. С таким толкованием процесса стеклообразования трудно согласиться, так как в рассматриваемой области (выше 1150°) жидкой фазой контрактурирует не глинистое вещество, а продукты его твердофазных превращений — муллит и аморфный кремнезем (рис. 2-в). В таком контакте не будет происходить одновременное растворение всех компонентов. Первоначально будет растворяться более реакционноспособный аморфный кремнезем. Следовательно, по контакту образуется слой кремнезем-полевошпатового расплава, пронизанного мельчайшими зернами первичного муллита (рис. 2-г). Дальнейшее протекание процесса обуславливается количественным соотношением содержания в расплаве ионов $Al^{3+} : Si^{4+}$. По мере растворения кремнезема, это соотношение меняется, расплав становится более кислым по сравнению с чистым полевошпатовым

расплавом. В результате разности концентраций начинается растворение первичного муллита и после насыщения ионами Al^{3+} выкристаллизовывается вторичный муллит игловидной формы (рис. 2-д). Перекристаллизации муллита способствует наличие в расплаве некоторой упорядоченности. В расплаве имеются субтоксические группы [4], содержащие группы $[AlO_4]$, $[AlO_3]$ и $[SiO_4]$, являющиеся составными элементами, из которых выкристаллизовывается вторичный игловидный муллит. Крупные кристаллы последнего в энергетическом отношении обладают большей стабильностью, так как движущей силой описанного процесса перекристаллизации является снижение свободной поверхностной энергии рассматриваемой системы.

В производстве тонкокерамических изделий процесс перекристаллизации муллита через расплав полностью не завершается. В зависимости от условий обжига получают различные промежуточные состояния, и которых обжиг, и следовательно, и перекристаллизация муллита приостанавливаются при различных количественных соотношениях катионов. Соответственно при микроскопическом изучении в шлифах наблюдаем разное количественное соотношение первичного и вторичного муллита. Основными факторами, определяющими скорость протекания процесса растворение — перекристаллизация муллита, являются разность ионных концентраций, а также изменение температуры обжига; с повышением температуры ускоряются диффузионные процессы и растворение кристаллических фаз.

В соответствии с вышеприведенной схемой по двойному контакту кварца — полевого шпат, во время обжига образуется контактная зона, состоящая из полевошпатового стекла, зажатого между прослойками кремнезем-полевошпатового стекла, пронизанного кристалликами вторичного муллита и некоторого количества остаточного первичного муллита.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 27.XI.1967.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Будников П. П., Геворкян А. О. Фарфор, М., 1955.
- 2 Геворкян А. О. Тр. Ереванского политехнического института, т. 5, 1955
- 3 Швальтин Г., Мейер В. *Zeits. Amer. Ceram. Soc.*, 21, 11, 1938
- 4 Френкель Я. П. Кинетическая теория жидкостей. АН СССР, М., 1946

С. И. МЕКШИЯН

О ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ШЛАКОБЕТОНА С ТУФОВЫМ КАМНЕМ

Исследование прочности сцепления туфового камня с раствором и бетоном представляет значительный интерес не только с точки зрения монолитности кладки, применяемой в сейсмических районах, но

расплавом. В результате разности концентраций начинается растворение первичного муллита и после насыщения ионами Al^{3+} выкристаллизовывается вторичный муллит игловидной формы (рис. 2-д). Перекристаллизации муллита способствует наличие в расплаве некоторой упорядоченности. В расплаве имеются субтоксические группы [4], содержащие группы $[AlO_4]$, $[AlO_3]$ и $[SiO_4]$, являющиеся составными элементами, из которых выкристаллизовывается вторичный игловидный муллит. Крупные кристаллы последнего в энергетическом отношении обладают большей стабильностью, так как движущей силой описанного процесса перекристаллизации является снижение свободной поверхностной энергии рассматриваемой системы.

В производстве тонкокерамических изделий процесс перекристаллизации муллита через расплав полностью не завершается. В зависимости от условий обжига получают различные промежуточные состояния, и которых обжиг, и следовательно, и перекристаллизация муллита приостанавливаются при различных количественных соотношениях катионов. Соответственно при микроскопическом изучении в шлифах наблюдаем разное количественное соотношение первичного и вторичного муллита. Основными факторами, определяющими скорость протекания процесса растворение — перекристаллизация муллита, являются разность ионных концентраций, а также изменение температуры обжига; с повышением температуры ускоряются диффузионные процессы и растворение кристаллических фаз.

В соответствии с вышеприведенной схемой по двойному контакту кварца — полевого шпата, во время обжига образуется контактная зона, состоящая из полевошпатового стекла, зажатого между прослойками кремнезем-полевошпатового стекла, пронизанного кристалликами вторичного муллита и некоторого количества остаточного первичного муллита.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 27.XI.1967.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Будников П. П., Геворкян А. О. Фарфор, М., 1955.
- 2 Геворкян А. О. Тр. Ереванского политехнического института, т. 5, 1955
- 3 Швальтин Г., Мейер В. *Zeits. Amer. Ceram. Soc.*, 21, 11, 1938
- 4 Френкель Я. П. Кинетическая теория жидкостей. АН СССР, М., 1946

С. И. МЕКШИЯН

О ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ШЛАКОБЕТОНА С ТУФОВЫМ КАМНЕМ

Исследование прочности сцепления туфового камня с раствором и бетоном представляет значительный интерес не только с точки зрения монолитности кладки, применяемой в сейсмических районах, но

и в связи с применением тонких плит в качестве облицовки стеновых панелей. С целью определения прочности нормального сцепления арктических плит с легким бетоном были изготовлены образцы в виде восьмерок, которые испытывались на разрыв (рис. 1 и 2). Для

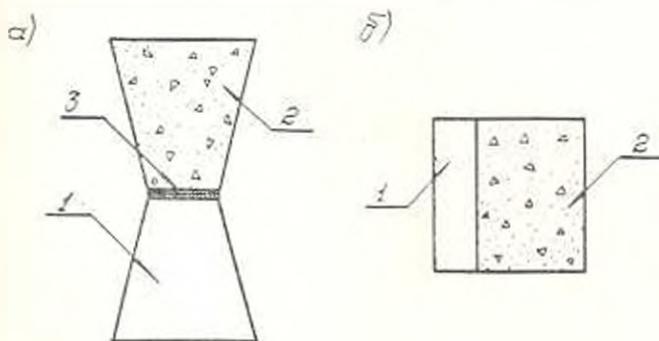


Рис. 1. Образцы испытания: 1 — туфовый камень; 2 — бетон; 3 — промежуточный растворный слой.

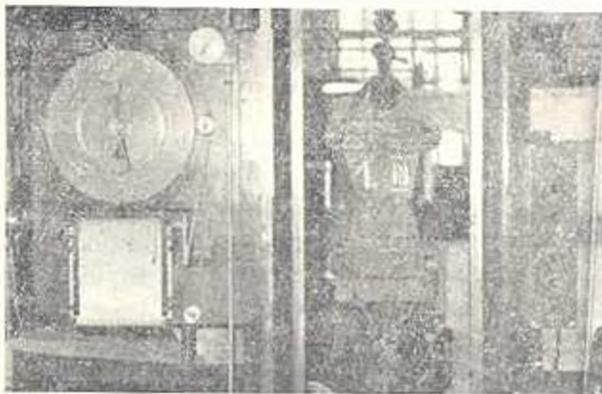


Рис. 2. Испытание образцов на разрыв

определения величины прочности тангенциального сцепления были изготовлены кубы с плиточной облицовкой и испытаны на сдвиг по методике ЦНИИСК. Образцы изготавливались по технологии, принятой для формирования наружных стеновых панелей с туфовой облицовкой „лицом вниз“.

В зависимости от прочности легкого бетона образцы подразделялись на четыре группы. В каждой группе образцы изготавливались на бетонах двух консистенций (с осадкой конуса 3—5 см и удобоукладываемостью 60—80 сек), с пропариванием и без пропаривания, а также с применением и контакте тонкого слоя цементного раствора. Всего из каждого замеса бетона были изготовлены 15 восьмерок, шесть кубов с плиточной облицовкой и двенадцать — без облицовки. Последние предназначались для определения прочности бетона. В качестве облицовки применялся туфовый камень арктического месторождения прочностью на сжатие от 115 до 143 $кг/см^2$ (марка камня „100“).
4. ГИ, № 2.

Испытание проводилось под кратковременно действующей нагрузкой, на 10 тн прецизионной разрывной машине Шонпера. Результаты испытания образцов приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытания образцов на разрыв и сдвиг

Серии испытаний	Прочность на сжатие $KГ/см^2$		Средняя величина прочности нормального сцепления $KГ/см^2$ для образцов изготовленных					Средняя величина прочности тангенциального сцепления $KГ/см^2$ для образцов, изготовленных на бетонах пластичной консистенции без пропарки
	камни	бетона	на бетонах пластичной консистенции			на бетонах жесткой консистенции		
			без пропарки	с пропаркой	с пропаркой, испытанных на 2-й день	без пропарки	без пропарки при промежуточном расклевывании	
I	128	26	3,8	3,8	3,0	3,1	4,9	5,6
II	115	49	5,6	5,8	4,2	4,0	6,2	10,0
III	143	91	6,3	6,2	4,8	4,9	8,9	13,4
IV	138	115	6,9	7,2	5,3	4,8	11,0	14,8

По результатам проведенных испытаний могут быть сделаны следующие выводы:

1. Наружные стеновые панели из легкого бетона на кармрашеском вулканическом шлаке с облицовкой из артикуфовых плит при формировании панелей "лицом вниз" имеют высокую прочность сцепления туфовых плит с бетоном, благодаря чему совместная работа слоев обеспечивается вплоть до разрушения панели.

2. При одном и том же составе бетона прочность нормального сцепления облицовочных плит с бетоном пластичной консистенции больше прочности сцепления жестких бетонов с туфом на 20—30%. При этом с повышением прочности бетона прочность сцепления туфа с бетоном возрастает.

3. Влияние пропаривания на конечную величину прочности сцепления бетона с туфом незначительно.

4. Виброуплотнение способствует накоплению цементного молока у контакта и тем самым повышает прочность сцепления туфа с бетоном.

5. Применение тонкого слоя цементного раствора в контакте между облицовкой и бетоном жесткой консистенции приводит к повышению прочности сцепления на 30—40%. Прочность тангенциального сцепления превышает прочность нормального сцепления в 1,5—2,0 раза.

УДК 620.1.05

Остаточное напряжение в ненасыщающихся структурах типа $p-n-p-n$. Макаров В. А., Аяян Р. Э., Коронянский Н. М., Соловьев А. К., Чарыков Н. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 5—15.

Рассмотрены условия, при которых центральный $p-n$ переход n_2 во включенном состоянии тиристора находится под обратным смещением. В основе анализа лежит зависимость коэффициентов передачи тока транзисторных структур от ширины слоя пространственного заряда перехода n_2 . Проведен анализ вольт-амперных характеристик включенного тиристора с обратным смещением центральным $p-n$ переходом. Показано, что величина обратного напряжения u_{20} зависит от суммы коэффициентов передачи тока транзисторных структур ($\alpha_{10} + \alpha_{20}$) при нулевом напряжении на центральном $p-n$ переходе и от характера распределения в нем примеси. При данном значении ($\alpha_{10} + \alpha_{20}$) обратное смещение на линейном центральном $p-n$ переходе тем больше, чем больше градиент примеси. Указывается, что при включении и выключении ненасыщающихся структур отсутствуют зоны накопления у границы центрального $p-n$ перехода, что качественно подтверждается экспериментальными данными. Библиографии 8. Иллюстраций 5.

УДК 537.2

К вопросу о нейтрализации зарядов статического электричества, возникающих при пневмотранспортировке сыпучих материалов.

Абрамян В. К., Крайняк Л. Е. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 16—23.

Исследована возможность нейтрализации зарядов статического электричества при помощи введения в трубопровод струи компримированного воздуха из коронного разряда. Рассмотрена кинетика нейтрализации зарядов частиц за счет направленного движения ионов под воздействием силы увлечения потоком воздуха, сил кулоновского взаимодействия и сил притяжения «зеркальным образом», при нейтрализации зарядов частиц вследствие диффузии ионов.

При сопоставлении результатов этих двух механизмов нейтрализации замечено, что с увеличением начального заряда частицы увеличивается время, затрачиваемое на его нейтрализацию; с увеличением радиуса частицы (при одном и том же значении начального заряда) сокращается время нейтрализации; возможен процесс перезарядки частиц за счет диффузии ионов, но практически перезарядка не может продолжаться долго вследствие ограниченного времени пребывания частицы в зоне нейтрализации. Отмечается, что полученные экспериментальные исследования нейтрализации порошка сахара при его пневмотранспортировке воздухом подтвердили и сложившиеся выводы. Библиографии 6. Иллюстраций 2.

Получение необходимых номиналов варисторов на основе определения удельного сопротивления карбида кремния. Григорян А. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 24—30.

Приведена методика и расчет рассортировки порошка SiC по прочности на основе определения его удельного сопротивления под механической и электрической нагрузкой. Описана методика электростатической сортировки порошка. Представлены условия предварительной обработки порошков кислотами с целью повышения их коэффициента нелинейности. Таблица 1. Библиографий 2. Иллюстрации 6.

Некоторые вопросы оптимизации автоматических систем методом «оптимума номинала». Налладжян Т. А. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 31—35.

Предлагаются расчетные формулы выбора оптимальных значений параметров управления исследуемых технологических процессов с целью повышения экономической эффективности их работы. Предложенный подход оптимизации автоматических и неавтоматических установок, основанный на методе Д. В. Свечарника, не требует конструктивных изменений и применим для многочисленных процессов, входные и выходные параметры которых имеют вероятностный характер. Библиографий 2. Иллюстраций 2.

К расчету вертикального дренажа в многослойной фильтрующей среде. Ананян А. К., Казарян С. М. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 36—42.

Приводятся табулированные функции для полученных автором формул. Приводится конкретный пример расчета понижения уровня подземных вод в любой точке в любой момент времени при переменном режиме излива или откачки из вертикального дренажа. Таблиц 7. Библиографий 2. Иллюстраций 2.

К расчету шестиполюсников. Акопянцян Г. Д. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 43—45.

Определяются величины и фазы напряжений на входных зажимах шестиполюсника по известным значениям активных и реактивных мощностей на зажимах и по заданным его параметрам. Изложена методика определения указанных величин, основанная на решении уравнений мощностей. Изложенный метод расчета может быть использован при исследовании режимов работы энергосистем для определения величин и фаз в д.с. генераторных станциях при различных значениях мощностей, выдаваемых ими. Библиографий 2.

**О природе контактных процессов обжига фарфора. Геворкян Х. О.
«Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 45—49.**

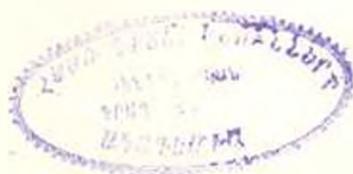
Основные процессы обжига фарфора происходят в точках контакта зерен полевого шпата и каолина. Для продуктов обжига искусственных смесей каолина и полевого шпата были выполнены рентгенографическое, микроскопическое и термографическое исследования и были определены физические свойства обожженных образцов. Дано толкование физико-химических процессов обжига и разработана следующая схема рассматриваемых процессов.

До 1000°—1100°С происходят в основном твердофазные реакции; выше 1100°С происходит плавление полевого шпата; поверхностное натяжение жидкой фазы вызывает уплотнение массы; растворение аморфного кремнезема из каолинитового остатка в полевошпатовом расплаве; растворение первичного муллита в жидкой фазе; насыщение расплава катионами алюминия и выделение из избыточного расплава игловидных кристаллов вторичного муллита. Библиографий 4. Иллюстраций 2.

УДК 691.3...

**О прочности сцепления шлакобетона с туфовым камнем. Мехкян С. Н.
«Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 2, 1968, 48—50.**

Приводятся результаты экспериментальных исследований автора по прочности сцепления туфа и бетона на вулканическом шлаке при нормальном и тангенциальном воздействии сил. Таблица 1. Иллюстраций 2.



ԲՈՎԱՆԳԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Վ. Ա. Բարկաբով, Թ. Է. Ալազյան, Բ. Մ. Կոռոնկսկի, Ա. Կ. Սոլովյով, Ն. Ա. Չաբիկով.
Մնացորդային լարումները Բ—Գ—Յ—Ն տիպի չհաղեցվող սերուկատուրաներում 5

ԷԼԵԿՏՐՈՏԵՆՆԻԿԱ

Վ. Ղ. Աբրահամյան, Վ. Ե. Կոռոլովիև. Սորուն նյութերի պենեափոխադրման ժամանակ
ստացացող ստատիկ էլեկտրականության լիցքերի չեզոքացման հարցի շուրջը 16

Ա. Ա. Գրիգորյան, Արխիբիուսի կարբիդի տեսակարար դիմադրության որոշման միման
վրա վարիստորների անհրաժեշտ եռմինայինների ստացումը 24

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵՆՆԻԿԱ

Տ. Ա. Խաչաչյուն, ռևուիենայի օդախմուժս ձեթեղով սխտեմենների օպտիմալացման
որոշ հասցեքը 31

ԷՐԻՆԵԼԵԿԿԱ ՀԻՐՈՏԵՆՆԻԿԱ

Ա. Կ. Անանյան, Ս. Ս. Վաղարյուն. Բազմաշերտ ֆիլարացիոն միջավայրում ուղղամբ
դրենածի հաշվարկի շուրջը 36

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՒԹՅՈՒՆ

Գ. Գ. Հակոբջանյան, Վեցրենտի հաշվարկի շուրջը 43

Խ. Հ. Կուրզյուն, ճենապակու թրձման կոնտակտային սրսցեանների բնույթի վերաբերյալ 45

Ս. Ն. Սիլվեստր, Տուֆադարի Առ խտրամարնտների չափաչափման ամբույթյան վերաբերյալ 48

СОДЕРЖАНИЕ

Измерительная техника

- В. А. Микаров, Р. Э. Аязян, Н. М. Короневский, А. К. Соловьев, Н. А. Чариков* Остаточное напряжение в ненасыщающихся структурах типа $p-n-p$ 5

Электротехника

- В. К. Абрамкин, Д. Е. Крайник* К вопросу нейтрализации зарядов статического электричества, возникающих при линейной транспортировке сыпучих материалов 16
- А. А. Григорян* Получение необходимых номиналов варисторов на основе определения удельного сопротивления карбида кремния 24

Вычислительная техника

- Т. А. Надиджини* Некоторые вопросы оптимизации систем методом "оптимального номинала" 31

Гидравлика, гидротехника

- А. К. Ашкян, С. М. Каларчи* К расчету вертикального дренажа в многослойной фильтрующей среде 36

Научные заметки

- Г. Д. Аюджинян* К расчету шестигранных кирпичей 43
- Х. О. Геворкян* О природе контактных процессов обжига фосфора 45
- С. Н. Мекinian* О прочности сцепления шлакобетона с туфовым камнем 48