

Զ Ե Կ Ո Ւ Յ Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы

LXXX, № 4

1985

Խմբագրական կոլեգիա

Редакционная коллегия

Գ. Ա. ԱՐԶՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. թեկնածու (պատ. ֆառաուպոլոգ), Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Բ. ԲԱՐԱՏՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Հ. ԳԱՐՐԻՆՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա. ԹԱՎԱԴՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րաբ. տեղամ. Վ. Մ. ԲԱՌԱՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րաբ. տեղամ. Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագրի տեղակալ), Վ. Գ. ՄԻԻՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րաբ. տեղամ. Գ. Ս. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ս. Մ. ՍԱՊՈՆԴՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րաբ. տեղամ. Մ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻԿԱԵԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Վ. Բ. ՆԱՆԱՐԶՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս:

Վ. Ա. ԱՄԲԱՐՇՄՅԱՆ, ակադեմիկ, Գ. Ա. ԱՐՅՄԱՆՅԱՆ, կայմ. տեխ. լուս. (օտ. սեկրետար), Յ. Գ. ԱՓՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկ ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Ա. Դ. ԲԱԲԱՅԱՆ, ակադեմիկ ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Ա. Ա. ԴԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, ակադեմիկ ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Վ. Օ. ԿԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկ ԱՆ ԱրմՍՍՐ (օտ. օտ. ռեդակտոր), Վ. Գ. ՄԽԻՏԱՐՅԱՆ, լուս.-կորր. ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Գ. Ս. ՏԱԿՅԱՆ, ակադեմիկ ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Օ. Մ. ՏԱՓՈՆԴՅԱՆ, լուս.-կորր. ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Ա. Ա. ԴԱԼԱԼՅԱՆ, լուս.-կորր. ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Վ. Մ. ԴԱՐԱՅԱՆ, լուս.-կորր. ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Մ. Լ. ԴԵՐ-ՄԻԿԱԵԼՅԱՆ, ակադեմիկ ԱՆ ԱրմՍՍՐ, Վ. Վ. ՓԱՆԱՐԴՅԱՆ, ակադեմիկ ԱՆ ԱրմՍՍՐ.



Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

էջ

- Վ. Ա. Վարդանյան—Մոնոտոն բուլյան ֆունկցիաների դինամիկ տեսության բար-
 դության մասին 147
- Հ. Մ. Մուշեղյան—Ռազմատիկական սխեմաների վերաբերյալ ռազմապատիկ շարքերի միակություն
 մասին 152
- Գ. Վ. Զուլմախյան—Ինդիքսային լեզուների ներքին-վերին վերլուծվող ենթադասեր
 157

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

- Գ. Վ. Մուսայելյան—Մոկոտիկեն առանցքառամասերիկ նմուշի հարթ մատրիցայում
 արասանդման պրոցեսի հետազոտումը վերջավոր էլեմենտների մեթոդով 162
- Հ. Մ. Մուրադյան, Ռ. Ն. Սարգսյան, Ռ. Լ. Էնֆիաշյան—Ժառանգական ունեցող անհա-
 մասն շերտի շերտառանցական հարթ խնդիրը 166

ՍՈՎԷՏԻ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

- Յ. Մ. Փալադյան—Երևա ոչ համակենտրոն շրջանագծերով սահմանափակված լայնա-
 կան կտրվածքով բազալային շրջանային օլակի սկիզբի սղորդ ոլորման դեպքում . . . 171

ՖԻԶԻԿԱ

- Գ. Մ. Ավագյանց, Ս. Ա. Թառումյան—Արեղակնային էներգիայի փոխակերպումը
 էլեկտրական հոսքառաֆիական խտացուցիչների օդառազորմամբ 176

ՏՋԱՐԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Վ. Գ. Շեչեկով, Ս. Հ. Պոդոսովա—Ազատ ապրող քառուտ աղի նոր ենթատեսակ
 և տեսակ 181

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

- Ռ. Ա. Զախարյան, Ժ. Ի. Հակոբյան, Ա. Ս. Աղաբալյան, Ա. Ա. Զախարյան—Խոն-
 քերների վերաբերյալ ախտահարման դեպքում Շճ-նՊ պատրաստուկի ազդեցության մասին . . . 185
- Գ. Ս. Մեխոնյան, Հ. Հ. Մկրտչյան—Սինապտիկ պրոցեսների վերլուծությունը
 բվանտային կանխադրույթների հիման վրա 190

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
МАТЕМАТИКА	
<i>В. А. Варданян</i> —О сложности динамических тестов для монотонных булевых функций	147
<i>Г. М. Мушегян</i> —О единственности кратных рядов по системе Радемахара .	152
<i>Г. В. Джулакян</i> —Восходяще-анализируемые подклассы индексных языков .	157
МЕХАНИКА	
<i>Г. В. Мусаелян</i> —Исследование процесса выдавливания пористого осесимметричного образца через плоскую матрицу методом конечных элементов .	162
<i>Л. М. Мурадян, Р. Н. Барсегян, Р. Л. Энфиаджян</i> —Плоская термоупругая задача для неоднородной полосы с трещинами	166
ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ	
<i>Ф. М. Поладян</i> —Ползучесть составного сектора кругового кольца с поперечным сечением, ограниченным тремя концентрическими окружностями при кручении	171
ФИЗИКА	
<i>Г. М. Авакьянц</i> <i>С. А. Тарумян</i> —Преобразование солнечной энергии в электрическую с использованием голографических концентраторов	176
АКАРОЛОГИЯ	
<i>В. Г. Шевченко, А. Р. Погосова</i> —Новый подрод и вид открытоживущего четырехногого клеща (Acariformes, Tetrapodili)	181
ФИЗИОЛОГИЯ	
<i>Р. А. Захарян, Ж. И. Акопян, А. С. Агабалян, А. А. Чарчоглян</i> —О влиянии препарата Са-НК на вирусную инфекцию у поросят	185
<i>Д. С. Мелконян, О. А. Мкртчян</i> —К анализу синаптических процессов на основе квантовых постулатов	190

CONTENTS,

MATHEMATICS

P.

- V. A. Vardanian*—On the complexity of dynamic tests for monotonic Boolean functions 147
H. M. Mushegian—On uniqueness of the multiple Rademacher series 152
G. V. Djulhakian—A bottom-up parsables subclasses of indexed languages. 157

MECHANICS

- G. V. Musaelian*—Investigation of extrusion process of porous axisymmetrical specimen through plane die by the method of finite elements. 162
L. M. Muradian, R. N. Barsegian, R. L. Enfiajian—Plane thermoelastic problem for an inhomogeneous strip with cracks 166

CREEP THEORY

- F. M. Poladian*—The creep of the compound sector of a circular ring with a cross-section limited by three non-concentric circles under torsion 171

PHYSICS

- [*G. M. Avakiantz*], *S. A. Taroumian*—Solar energy conversion into electric energy using holographic concentrators 176

ACARALOGY

- V. G. Shevtchenko, A. R. Pogosova*—A new subgenus and species of free living mites (Acariformes, Tetranychidae) 181

PHYSIOLOGY

- R. A. Zakhartan, Zh. I. Akopian, A. S. Agabalian, A. A. Charchoglian*—Effect of „Ca“—NA complex on virus infection of pigs. 185
D. S. Melkonian, H. H. Mkrtchian—An analysis of synaptic processes on the basis of quantum postulates 190

Техн. редактор АЗИЗБЕКЯН Л. А.

Сдано в набор 15.03.1985 г. Подписано к печати 11.06.1985 г. ВФ 07401.

Бумага № 1, 70×108¹/₁₆. Высокая печать. Печ. лист 3,0. Усл. печ. л. 4,2.

Учет.-изд. л. 3,4. Тираж 440. Заказ 218. Издат. 6383.

Адр. ред.: 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24-г, II эт., к. 1, т. 27-97-238.

Издательство Академии наук Армянской ССР, 375019, Ереван,
 пр. Маршала Баграмяна, 24-г.

Типография Издательства Академии наук АрмССР, 378310, г. Эчмиадзин.

УДК 519.95

МАТЕМАТИКА

В. А. Вардanian

О сложности динамических тестов
для монотонных булевых функций

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. Р. Варшамовым 24/XI 1983)

Введем следующие обозначения: B^n —множество наборов n -мерного единичного куба; $P_2(n)$ (соответственно $P_2^c(n)$)—множество всех булевых функций, (существенно) зависящих от переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$; $M(n)$ —множество всех монотонных функций $f \in P_2(n)$; $M^c(n) = M(n) \cap P_2^c(n)$; $\leq^*$ —отношение предшествования в B^n ; $|A|$ —число элементов множества A ; $[x](\lfloor x \rfloor)$ —наибольшее (наименьшее) целое, не превосходящее (не меньшее) x . Пусть $\bar{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in B^n$, обозначим $\bar{a}^i = (a_1, \dots, a_{i-1}, \bar{a}_i, a_{i+1}, \dots, a_n)$, $1 \leq i \leq n$; $B^{n,k} = \{\bar{a} \in B^n / \sum_{i=1}^n a_i = k\}$, $0 \leq k \leq n$; $N(\bar{a}) = \{i / a_i = 1, 1 \leq i \leq n\}$; $N_r(\bar{a}) = N(\bar{a}) \setminus \{r\}$, $1 \leq r \leq n$.

Будем говорить, что функция $f \in P_2(n)$ активна на наборе $\bar{a}$ по направлению i , $1 \leq i \leq n$, если $f(\bar{a}) \neq f(\bar{a}^i)$. Функция f называется активной по направлению i , если существует набор $\bar{a} \in B^n$ такой, что $f(\bar{a}) \neq f(\bar{a}^i)$.

Активностью функции f на наборе $\bar{a}$ назовем число $\omega^f(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n (f(\bar{a}) \oplus f(\bar{a}^i))$. Число $\omega^f = \max_{\bar{a} \in B^n} \omega^f(\bar{a})$ называется ⁽¹⁾ активностью функции f .

Множество наборов $T(f) \subseteq B^n$ называется (единичным) динамическим тестом ⁽¹⁾ для функции f , если для каждого i , $1 \leq i \leq n$, из активности функции f по направлению i следует существование набора $\bar{a} \in T(f)$ такого, что $f(\bar{a}) \neq f(\bar{a}^i)$. Тест $T(f)$ называется минимальным, если содержит минимальное число наборов среди всех динамических тестов функции f .

Лемма 1. Пусть $\bar{a} \leq^* \bar{\beta}$, $f \in M(n)$. Тогда если $f(\bar{a}) = f(\bar{\beta}) = 0$, то $\omega^f(\bar{a}) \leq \omega^f(\bar{\beta})$, если же $f(\bar{a}) = f(\bar{\beta}) = 1$, то $\omega^f(\bar{a}) \geq \omega^f(\bar{\beta})$.

Лемма 2. Если $f \in M(n)$, то $\omega^f = \max_{\bar{a} \in m(f)} \omega^f(\bar{a})$, где $m(f)$ —множество верхних нулей и нижних единиц функции f .

Теорема 1. Для почти всех функций $f \in M(n)$ имеет место

$$\omega^f = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + 1.$$

Пусть $\omega_M(n) = \min_{f \in M^c(n)} \omega^f$.

Теорема 2. $\omega_M(n) \leq \frac{1}{2} \log_2 n$ при $n \rightarrow \infty$.

Доказательство. Пусть $\varphi(n)$ — положительная целочисленная функция, удовлетворяющая условию $C \left| \frac{1}{2} \varphi(n) \right| \geq n - \varphi(n) \geq 0$. Рассмотрим множество $I_{\varphi(n)} = \{1, 2, \dots, \varphi(n)\}$. Через $\mathcal{N}(I_{\varphi(n)})$ обозначим множество всех $\left(\varphi(n), \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor \right)$ -сочетаний из множества $I_{\varphi(n)}$. Пусть ν — некоторое инъективное отображение множества $\bar{I}_{\varphi(n)} = \{\varphi(n)+1, \varphi(n)+2, \dots, n\}$ в множество $\mathcal{N}(I_{\varphi(n)})$:

$$\nu(s) = \{v_1(s), v_2(s), \dots, v_{\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor}(s)\} \in \mathcal{N}(I_{\varphi(n)}), \quad s \in \bar{I}_{\varphi(n)}.$$

Рассмотрим функцию $f_{\varphi(n), \nu}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_{\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor} + 1 \leq \varphi(n)} x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_{\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor} + 1} \nu_{\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1}(s)$.

Очевидно, что $f_{\varphi(n), \nu} \in M^c(n)$. Докажем, что

$$\omega^{f_{\varphi(n), \nu}} = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1.$$

Для любого s , $\varphi(n)+1 \leq s \leq n$, рассмотрим набор $\bar{a} \in B^n$, для которого $N(\bar{a}) = \{v_1(s), v_2(s), \dots, v_{\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor}(s)\}$. Из определения функции $f_{\varphi(n), \nu}$ следует, что $f_{\varphi(n), \nu}(\bar{a}) = 0$ и

$$f_{\varphi(n), \nu}(\bar{a}^i) = \begin{cases} 1, & \text{если } i \in (I_{\varphi(n)} \setminus N(\bar{a})) \cup \{s\}. \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Следовательно, $\omega^{f_{\varphi(n), \nu}}(\bar{a}) = |(I_{\varphi(n)} \setminus N(\bar{a})) \cup \{s\}| = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1$.

Теперь покажем, что не существует набора $\bar{a} \in B^n$, для которого $\omega^{f_{\varphi(n), \nu}}(\bar{a}) \geq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 2$. Предположим обратное: пусть $\bar{a} \in B^n$ и $\omega^{f_{\varphi(n), \nu}}(\bar{a}) \geq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 2$. Если $f_{\varphi(n), \nu}(\bar{a}) = 1$, то из монотонности функции $f_{\varphi(n), \nu}$ вытекает существование набора $\bar{\beta} \in B^n$, $\bar{\beta} \leq^* \bar{a}$, являющегося нижней единицей для $f_{\varphi(n), \nu}$, и согласно лемме 1 $\omega^{f_{\varphi(n), \nu}}(\bar{\beta}) \geq \omega^{f_{\varphi(n), \nu}}(\bar{a}) \geq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 2$. Но эти неравенства означают, что набор $\bar{\beta}$ расположен не ниже слоя $B^n, \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 2$. Очевидно, последнее является противоречием, т. к. по определению все нижние единицы функции $f_{\varphi(n), \nu}$ находятся на слое $B^n, \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1$.

Пусть теперь $f_{\varphi(n), \nu}(\bar{a}) = 0$. Рассмотрим все допустимые случаи и покажем, что они противоречат определению функции $f_{\varphi(n), \nu}$.

Случай 1. $a_s = a_m = 0$, $f_{\varphi(n), \nu}(\bar{a}^s) = f_{\varphi(n), \nu}(\bar{a}^m) = 1$, $s \neq m$, $s, m \in \bar{I}_{\varphi(n)}$.

Очевидно, существуют наборы $\bar{\beta}$ и $\bar{\gamma}$, $\bar{\beta} \leq^* \bar{\alpha}^s$, $\bar{\gamma} \leq^* \bar{\alpha}^m$, являющиеся нижними единицами для функции $f_{\varphi(n), \vee}$. Легко заметить, что $N_s(\bar{\beta}) \subseteq N(\bar{\alpha})$, $N_m(\bar{\gamma}) \subseteq N(\bar{\alpha})$. Из определения функции $f_{\varphi(n), \vee}$ вытекает, что $N_s(\bar{\beta}) \subset I_{\varphi(n)}$, $N_m(\bar{\gamma}) \subset I_{\varphi(n)}$; $|N_s(\bar{\beta})| = |N_m(\bar{\gamma})| = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor$. Рассмотрим множество $N_s(\bar{\beta}) \cup N_m(\bar{\gamma}) \subseteq N(\bar{\alpha})$. Если $|N_s(\bar{\beta}) \cup N_m(\bar{\gamma})| = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor$, т. е. $N_s(\bar{\beta}) = N_m(\bar{\gamma}) = \{j_1, j_2, \dots, j_{\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \rfloor}\}$, то получаем, что элементарные конъюнкции $x_{j_1} x_{j_2} \dots x_{j_{\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \rfloor}} x_s$ и $x_{j_1} x_{j_2} \dots x_{j_{\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \rfloor}} x_m$ входят в сокращенную днф функции $f_{\varphi(n), \vee}$, но, очевидно, это противоречит определению функции $f_{\varphi(n), \vee}$. Если же $|N_s(\bar{\beta}) \cup N_m(\bar{\gamma})| \geq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1$, то найдется множество индексов

$$\{j_1, j_2, \dots, j_{\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \rfloor + 1}\} \subseteq N_s(\bar{\beta}) \cup N_m(\bar{\gamma}) \subseteq N(\bar{\alpha}) \cap I_{\varphi(n)}$$

такое, что элементарная конъюнкция $x_{j_1} x_{j_2} \dots x_{j_{\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \rfloor + 1}}$ входит в сокращенную днф функции $f_{\varphi(n), \vee}$. Тогда из монотонности функции $f_{\varphi(n), \vee}$ следует, что $f_{\varphi(n), \vee}(\bar{\alpha}) = 1$. Однако последнее противоречит условию $f_{\varphi(n), \vee}(\bar{\alpha}) = 0$.

С л у ч а й 2. $\alpha_s = 0$, $\alpha_{t_j} = 0$, $f_{\varphi(n), \vee}(\bar{\alpha}^s) = f_{\varphi(n), \vee}(\bar{\alpha}^{t_j}) = 1$,

$$s \in \bar{I}_{\varphi(n)}, t_j \in I_{\varphi(n)}, 1 \leq j \leq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1.$$

Пусть $\bar{\beta} \leq^* \bar{\alpha}^s$ и $\bar{\beta}$ — нижняя единица для функции $f_{\varphi(n), \vee}$. Легко видеть, что $N_s(\bar{\beta}) \subseteq N(\bar{\alpha})$, $N_s(\bar{\beta}) \subseteq I_{\varphi(n)}$, $|N_s(\bar{\beta})| = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor$. Следовательно, $N_s(\bar{\beta}) \subseteq N(\bar{\alpha}) \cap I_{\varphi(n)}$. Очевидно, что $t_j \notin N(\bar{\alpha})$, $1 \leq j \leq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1$. Следовательно, $|N(\bar{\alpha}) \cap I_{\varphi(n)}| \leq \varphi(n) - \left(\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1 \right) = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor - 1$. Таким образом, приходим к противоречию $\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor = |N_s(\bar{\beta})| \leq |N(\bar{\alpha}) \cap I_{\varphi(n)}| \leq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor - 1$.

С л у ч а й 3. $\alpha_{t_j} = 0$, $f_{\varphi(n), \vee}(\bar{\alpha}^{t_j}) = 1$, $t_j \in I_{\varphi(n)}$, $1 \leq j \leq r$, $r \geq \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 2$.

Рассмотрим набор $\bar{\alpha}^{t_1}$. Существует набор $\bar{\beta}$, $\bar{\beta} \leq^* \bar{\alpha}^{t_1}$, являющийся нижней единицей для функции $f_{\varphi(n), \vee}$. Очевидно, что $N_{t_1}(\bar{\beta}) \subseteq N(\bar{\alpha})$, $N_{t_1}(\bar{\beta}) \cap I_{\varphi(n)} \subseteq N(\bar{\alpha}) \cap I_{\varphi(n)}$, $t_j \notin N(\bar{\alpha})$, $1 \leq j \leq r$. Из определения функции $f_{\varphi(n), \vee}$ имеем $\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor - 1 \leq |N_{t_1}(\bar{\beta}) \cap I_{\varphi(n)}|$. Таким образом, опять при-

ходим к противоречию $\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor - 1 \leq |N_{I_1(\beta)} \cap I_{\varphi(n)}| \leq |N(\alpha) \cap I_{\varphi(n)}| \leq \varphi(n) - r \leq \varphi(n) - \left(\left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 2 \right) = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor - 2$.

Итак, полученные противоречия доказывают справедливость равенства $\omega_{f_{\varphi(n)}, \nu} = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1$.

Теперь нетрудно проверить, что при больших n и $\varphi(n)$, где $\varphi(n) = \left\lfloor \log_2 n + \frac{1}{2} \log_2 \log_2 n + \eta(n) \right\rfloor$, $\eta(n) \rightarrow \infty$, $\eta(n) = o(\log_2 \log_2 n)$, $n \rightarrow \infty$, справедливо неравенство $C \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor > n - \varphi(n) > 0$. Следовательно,

$$\omega_M(n) \leq \omega_{f_{\varphi(n)}, \nu} = \left\lfloor \frac{1}{2} \varphi(n) \right\rfloor + 1 = \frac{1}{2} \log_2 n \left(1 + O\left(\frac{\log_2 \log_2 n}{\log_2 n} \right) \right).$$

Теорема доказана.

Следствие. Пусть $\omega(n) = \min_{f \in P_2^c(n)} \omega^f$. Тогда $\omega(n) \leq \frac{1}{2} \log_2 n$ при $n \rightarrow \infty$.

Пусть $T(f)$ — минимальный динамический тест для f .

Теорема 3. Для почти всех функций $f \in M(n)$ $|T(f)| = 2$.

Рассмотрим функцию Шеннона $T_M(n) = \max_{f \in M^c(n)} |T(f)|$.

Теорема 4. При больших n справедливы неравенства

$$n - \log_2 n - O(\log_2 \log_2 n) \leq T_M(n) \leq n - \log_2 n + O\left(\frac{\log_2 n}{n} \right).$$

Доказательство. Верхняя оценка. Из (1) следует, что для любой функции $f \in P_2(n)$ при $n \geq 1$ имеет место $|T(f)| \leq n - t$, где t определяется из $2^{t-1} + t \leq n \leq 2^t + t$, откуда получаем, что при больших n

$$T_M(n) \leq n - \log_2 n + O\left(\frac{\log_2 n}{n} \right).$$

Нижняя оценка. Рассмотрим функцию $f_{\varphi(n), \nu}$, определенную при доказательстве теоремы 2, где $\varphi(n) = \left\lfloor \log_2 n + \frac{1}{2} \log_2 \log_2 n + \eta(n) \right\rfloor$, $\eta(n) = o(\log_2 \log_2 n)$, $\eta(n) \rightarrow \infty$, $n \rightarrow \infty$. Покажем, что для любых $s, m \in \bar{I}_{\varphi(n)}$, $s \neq m$ не существует набора $\bar{\alpha} \in B^n$ такого, что

$$f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\alpha}) \neq f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\alpha}^s), \quad f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\alpha}) \neq f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\alpha}^m).$$

Предположим обратное: пусть существует набор $\bar{\alpha} \in B^n$ такой, что последние неравенства справедливы. Поскольку $f_{\varphi(n), \nu} \in M(n)$, то возможны два случая. Мы докажем, что они оба противоречат определению функции $f_{\varphi(n), \nu}$.

Случай 1. $f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\alpha}) = 1$, $\alpha_s = \alpha_m = 1$, $f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\alpha}^s) = f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\alpha}^m) = 0$. Очевидно, существует набор $\bar{\beta} \in B^n$, $\bar{\beta} \leq^* \bar{\alpha}$, являющийся нижней единицей для $f_{\varphi(n), \nu}$. $\beta_s = \beta_m = 1$, $f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\beta}^s) = f_{\varphi(n), \nu}(\bar{\beta}^m) = 0$. Тогда нетрудно заметить,

что в сокращенной днф функции $f_{\varphi(n), \vee}$ должна существовать элементарная конъюнкция, содержащая переменные x_s и x_m , но это противоречит определению функции $f_{\varphi(n), \vee}$.

С л у ч а й 2. $f_{\varphi(n), \vee}(\bar{a})=0$, $a_s=a_m=0$, $f_{\varphi(n), \vee}(\bar{a}^s)=f_{\varphi(n), \vee}(\bar{a}^m)=1$. Противоречивость этого случая была показана при доказательстве теоремы 2 (случай 1). Следовательно, любой динамический тест функции $f_{\varphi(n), \vee}$ содержит не менее $n-\varphi(n)$ наборов. Таким образом, $|T(f_{\varphi(n), \vee})| \geq n-\varphi(n) = n - \log_2 n - O(\log_2 \log_2 n)$ при больших n . Следовательно, $T_M(n) \geq n - \log_2 n - O(\log_2 \log_2 n)$. Теорема доказана.

Вычислительный центр Академии наук
Армянской ССР и Ереванского
государственного университета

Վ. Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Մոնոտոն բուլյան ֆունկցիաների դինամիկ տեսության բարդության մասին

Ապացուցված են հետևյալ պնդումները.

1. Համարյա բոլոր $f \in M(n)$ մոնոտոն բուլյան ֆունկցիաների համար $\omega^f = \lfloor n/2 \rfloor + 1$, որտեղ ω^f -ը f ֆունկցիայի ակտիվությունն է, n -ը՝ փոփոխականների քանակը:

2. $\omega_M(n) = \min_{f \in M^c(n)} \omega^f \leq \frac{1}{2} \log_2 n$ երբ $n \rightarrow \infty$, որտեղ $M^c(n)$ -ը այն մոնոտոն ֆունկցիաների բազմությունն է, որոնք էպպես են կախված բոլոր n փոփոխականներից:

3. Համարյա բոլոր $f \in M(n)$ մոնոտոն ֆունկցիաների համար $|T(f)| = 2$, որտեղ $|T(f)|$ -ը f ֆունկցիայի դինամիկ տեսության բարդությունն է:

4. $T_M(n) = \max_{f \in M^c(n)} |T(f)| \sim n$ երբ $n \rightarrow \infty$.

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. В. Петросян, Тапиштануок, Будапешт, № 135 (1982). ² Г. Р. Погосян, О проверяющих тестах для логических схем, ВЦ АН СССР, М., 1982.

УДК 517.518.3

МАТЕМАТИКА

Г. М. Мушегян

О единственности кратных рядов по системе Радемахара

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР А. А. Талалянцем 25/XI 1983)

Теорема единственности для рядов по системе Радемахара формулируется следующим образом (см. (1)).

Теорема 1. Если ряд по системе Радемахара

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n r_n(x) \quad (1)$$

сходится к нулю на E и $\mu(E) > 2^{-1}$, то $a_n = 0$, $n = 1, 2, \dots$

Для изложения дальнейших результатов сделаем следующие обозначения: пусть $m, m \geq 1$ целое число, через $\bar{x}^m$ обозначим m -мерный вектор из $[0, 1]^m$, а через $\bar{t}^m$ m -мерный вектор, координаты которого целые положительные числа. Если $\bar{t}^m = (n_1, n_2, \dots, n_m)$; $\bar{x}^m = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, то $r_{\bar{t}^m}(\bar{x}^m) = r_{n_1}(x_1) \cdot r_{n_2}(x_2) \dots r_{n_m}(x_m)$. Пусть M_l , $l = 1, 2, \dots$ множества векторов типа $\bar{t}^m$, где m фиксированное число, класса $\{M_l\}_{l=1}^{\infty}$ назовем правильным, если:

- а) множества M_l , $l = 1, 2, \dots$ конечны;
- б) для любого вектора $\bar{t}_0^m \in M_{i_0}$ существует такая подпоследовательность $\{M_{i_k}\}_{k=1}^{\infty}$, что $\bar{t}_k^m \in M_{i_k}$, $k = 1, 2, \dots$

В настоящей работе доказывается следующая

Теорема 2. Пусть m фиксированное число, $\{M_l\}_{l=1}^{\infty}$ правильная последовательность, а

$$P_l(\bar{x}^m) = \sum_{\bar{t}^m \in M_l} a_{\bar{t}^m}^{(l)} r_{\bar{t}^m}(\bar{x}^m), \quad l = 1, 2, \dots \quad (2)$$

полиномы по m -кратной системе Радемахара. Если $\lim_{l \rightarrow \infty} P_l(\bar{x}^m) = 0$ при $\bar{x}^m \in E$, $\mu^{(m)}(E) > 1 - 2^{-m}$ (где $\mu^{(m)}$ мера Лебега в m -мерном пространстве), то $\lim_{l \rightarrow \infty} a_{\bar{t}^m}^{(l)} = 0$ равен нулю на множестве меры $1 - 2^{-m}$.

для любого фиксированного $\bar{t}^m$. Причем в формулировке этой теоремы условие $\mu^{(m)}(E) > 1 - 2^{-m}$ нельзя ослабить,

Отметим, что вопросы единственности кратных лакунарных тригонометрических рядов были исследованы в работе (2).

Из теоремы 2 легко получить, что если m -кратный ряд некоторым методом сходится к нулю на множестве E , $\mu^{(m)}(E) > 1 - 2^{-m}$, то коэффициенты этого ряда равны нулю.

Л е м м а. Пусть

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n^{(k)} r_n(x) \quad k=1, 2, \dots \quad (2)$$

последовательность одномерных рядов Радемахара, а E некоторое множество с $\mu(E) > 2^{-1}$. Если с) $\sum_{n=1}^{\infty} a_n^{(k)} r_n(x) = f_k(x)$ почти всюду на $[0, 1]$; d) $\lim_{k \rightarrow \infty} f_k(x) = f(x)$ при $x \in E$, то: I) для любого n существует конечный предел $\lim_{k \rightarrow \infty} a_n^{(k)} = a_n$; II) $\sum a_n^2 < +\infty$; III) $\lim_{k \rightarrow \infty} f_k(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n r_n(x)$ почти всюду на $[0, 1]$.

Доказательство леммы. Предположим, что условие I не имеет места. Пусть n_0 наименьшее число, для которого существуют число $d, d > 0$ и последовательность $\{k_i\}_{i=1}^{\infty}$, удовлетворяющие условию $|a_{n_0}^{(k_i)} - a_{n_0}^{(k_{i+1})}| > d, i=1, 2, \dots$. Выберем $E_1, E_1 \subset E, \mu(E_1) > 2^{-1}$ так, чтобы на E_1 ряды (2) и последовательность $f_k(x), k=1, 2, \dots$ сходились равномерно. Через $\bar{r}_k(x), \bar{f}_k(x)$ и $\bar{f}(x)$ обозначим продолженные на всю числовую прямую с периодом, равным единице, $r_k(x), f_k(x), f(x)$. Обозначим $E' = \{x + m : x \in E_1, m=0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$. Имеем $\sum_{n=1}^{\infty} a_n^{(k)} \bar{r}_n(x) = \bar{f}_k(x)$ и $\lim_{k \rightarrow \infty} \bar{f}_{k_i}(x) = \bar{f}(x)$ равномерно на E' . Из определения E' следует существование двоично иррационального числа x_0 такого, что $x_0 \in E'$ и $x_0 + 2^{-n_0} \in E'$. Ясно, что существует число J , удовлетворяющее условиям

$$|\bar{f}_{k_i}(x) - \bar{f}_{k_{i+1}}(x)| < \frac{d}{4}, \quad \sum_{n=1}^{n_0-1} |a_n^{(k_i)} - a_n^{(k_{i+1})}| < \frac{d}{4} \quad \text{при } J < i, x \in E'.$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \frac{d}{2} &> |\bar{f}_{k_i}(x_0) - \bar{f}_{k_{i+1}}(x_0) - \bar{f}_{k_i}(x_0 + 2^{-n_0}) + \bar{f}_{k_{i+1}}(x_0 + 2^{-n_0})| \geq \\ &\geq -2 \sum_{n=1}^{n_0-1} |a_n^{(k_i)} - a_n^{(k_{i+1})}| + 2|a_{n_0}^{(k_i)} - a_{n_0}^{(k_{i+1})}| \geq \frac{3}{2} d. \end{aligned}$$

Откуда получим $0 \geq d$, что невозможно. Докажем условие II. Пусть E_1 описанное выше множество. Тогда существует такое число $M, M > 0$, что $|f(x)| < M$ и $|f_k(x)| < M$ при $x \in E_1, k=1, 2, \dots$. Следовательно для любого k можно указать число l_k , удовлетворяющее условию

$$\left| \sum_{n=1}^m a_n^{(k)} r_n(x) \right| < M \quad \text{при } m > l_k \text{ и } x \in E_1. \quad (3)$$

Согласно лемме 8.3 (см. (3) при $\lambda=2$) существует такое $h_0 = h_0(E_1)$, что

$$2^{-1} \mu(E_1) \sum_{n=h_0}^m |a_n^{(k)}|^2 \leq \int_{E_1} \left| \sum_{n=h_0}^m a_n^{(k)} r_n(x) \right|^2 dx. \quad (4)$$

Согласно условию I при достаточно большом K

$$\left| \sum_{n=1}^{h_0} a_n^{(k)} r_n(x) \right| \leq \sum_{n=1}^{h_0} |a_n| + \sum_{n=1}^{h_0} |a_n - a_n^{(k)}| \leq \sum_{n=1}^{h_0} |a_n| + M \text{ при } K < k.$$

Отсюда и из 3 получим

$$\left| \sum_{n=h_0}^m a_n^{(k)} r_n(x) \right| \leq 2M + T, \text{ при } m > \max(L_k, h_0), \quad x \in E_1.$$

Сопоставляя с 4, получим

$$2^{-1} \sum_{n=h_0}^m |a_n^{(k)}|^2 \leq (2M + T)^2 \text{ при } m > (L_k, h_0). \quad (5)$$

Ясно, что условие 5 имеет место также при $m > h_0$. Отсюда и из I легко вытекает условие II.

Пусть

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n r_n(x) = \psi(x) \quad (6)$$

почти всюду на $[0, 1]$.

Сначала покажем, что $\psi(x) = f(x)$ почти всюду на E . Предположим обратное, тогда существует такое число $d, d > 0$, что имеет место одно из следующих условий:

$$\mu\{x: \psi(x) - f(x) > d, x \in E\} > 0; \quad \mu\{x: \psi(x) - f(x) < -d, x \in E\} > 0.$$

Для определенности будем считать, что имеет место первое из них. Пусть E_2 некоторое множество, обладающее свойствами:

- 1) $E_2 \subset \{x: x \in E, \psi(x) - f(x) > d\}, \quad \mu(E_2) > 0;$
- 2) ряды (2) и (6) равномерно сходятся на E_2 . Пусть x_0 иррациональная точка плотности E_2 , а интервал Δ такой, что

$$x_0 \in \Delta = (l/2^N, (l+1)/2^N), \quad \mu(E_2 \cap \Delta) > (2/(3 \cdot 2^N)) \cdot \mu(\Delta). \quad (7)$$

Выберем K настолько большим, чтобы

$$\sum_{n=1}^N |a_n - a_n^{(k)}| < d/4, \quad |f_k(x) - f(x)| < d/4 \text{ при } x \in E_2, \quad K \leq k, \quad (8)$$

$$3d/4 < \psi(x) - f(x) \leq \sum_{n=1}^N |a_n - a_n^{(k)}| + \sum_{n=N+1}^{\infty} (a_n - a_n^{(k)}) r_n(x) \text{ при } K < k, \quad x \in E_2 \cap \Delta.$$

Отсюда и из (8) получим

$$\sum_{n=N+1}^{\infty} (a_n - a_n^{(k)}) r_n(x) \geq d/2 \text{ при } K < k, \quad x \in E_2 \cap \Delta. \quad (9)$$

Но для произвольного α и $n, 0 < \alpha < 2^{-(N+1)}, n > N$

$r_n((l+1) \cdot 2^{-(N+1)} + \alpha) = -r_n((l+1)2^{-(N+1)} - \alpha)$, поэтому для любых $\{b_n\}_{n=N+1}^{\infty}$

$$\mu\left\{\sum_{n=N+1}^m b_n r_n(x) > 0, x \in \Delta\right\} = \mu\left\{\sum_{n=N+1}^m b_n r_n(x) < 0, x \in \Delta\right\} \text{ при } m > N \quad (10)$$

Условия (7) и (9) противоречат условию (10), следовательно $\psi(x) = f(x)$ почти всюду на E . Условие III доказано.

Пусть $F \subset E$ множество положительной меры, на котором функ-

ции $\psi(x)$ и $f_k(x)$, $k=1, 2, \dots$ конечны, а последовательность $f_k(x)$ равномерно сходится к $\psi(x)$. Далее пусть последовательности $\{a_l\}_{l=1}^\infty$, $\{\varepsilon_l\}_{l=1}^\infty$ такие, что $0 < a_l < 1$, $0 < \varepsilon_l$, $a_l \uparrow 1$, $\varepsilon_l \downarrow 0$ при $l \rightarrow \infty$. Фиксируем иррациональную точку плотности x_0 множества F . Для a_l существует такой интервал Δ_l , $\Delta_l = (l_i \cdot 2^{-m_l}, (l_i + 1) \cdot 2^{-m_l})$, что $\mu(\Delta_l \cap F) > a_l 2^{-m_l}$. Выберем K_l так, чтобы

$$\sum_{n=1}^{m_l} |a_n^{(k)} - a_n| < \varepsilon/3, \quad |f_k(x) - \psi(x)| < \varepsilon/3 \quad \text{при } K_l < k, \quad x \in F.$$

Так как число 2^{-m_l} является периодом для функции $r_n(x)$ при $n > m_l$, то для любых r , $0 \leq r < 2^{m_l}$, $K_l < k$ и $x \in F \cap \Delta_l$ будем иметь

$$\begin{aligned} \left| f_k\left(x + \frac{r - l_i}{2^{m_l}}\right) - \psi\left(x + \frac{r - l_i}{2^{m_l}}\right) \right| &\leq \sum_{n=1}^{m_l} |a_n^{(r)} - a_n| + \left| \sum_{n=m_l+1}^{\infty} (a_n^{(h)} - a_n) r_n(x) \right| \leq \\ &\leq \frac{\varepsilon}{3} + |f_k(x) - \psi(x)| + \sum_{n=1}^{m_l} |a_n^{(h)} - a_n| |r_n(x)| < \varepsilon. \end{aligned}$$

Обозначим $F_l^{(i)} = \{x + (r - l_i) \cdot 2^{-m_l} : x \in F \cap \Delta_l\}$. Легко убедиться, что

$$\lim_{k \rightarrow \infty} f_k(x) = \psi(x) \quad \text{при } x \in G = \bigcap_{j=1}^{\infty} \bigcup_{l=j}^{\infty} \left\{ \bigcup_{r=1}^{2^{m_l}} F_l^{(i)} \right\} \quad \text{и } \mu(G) = 1.$$

Доказательство теоремы 2 проведем по индукции. При $m=1$ ее справедливость следует из леммы. Пусть теорема 2 верна при $m=k-1$, докажем при $m=k$. Пусть $\{M_l\}_{l=1}^\infty$ k -мерная правильная последовательность. Путем прибавления в $P_l(\bar{x}^k)$ новых слагаемых с нулевыми коэффициентами можно считать, что M_l является k -кратным прямоугольником вида

$$M_l = \{(n_1, n_2, \dots, n_k) : 1 \leq n_1 \leq l_l^{(1)}, 1 \leq n_2 \leq l_l^{(2)}, \dots, 1 \leq n_k \leq l_l^{(k)}\}.$$

Обозначим

$$M_l^{(k-1)} = \{(n_1, \dots, n_{k-1}) : 1 \leq n_1 \leq l_l^{(1)}, 1 \leq n_2 \leq l_l^{(2)}, \dots, 1 \leq n_{k-1} \leq l_l^{(k-1)}\},$$

$$E_{x_0} = \{\bar{x}^k = (x_1, x_2, \dots, x_k) : \bar{x}^k \in E, x_k = x_k^{(0)}\}.$$

Применив теорему Фубини, легко показать, что

$$\mu(G_{x_k}) > 2^{-1}, \quad \text{где } G_{x_k} = \{x_k : \mu^{(m-1)}(E_{x_k}) > 1 - 2^{-(k-1)}\}. \quad (11)$$

$P_l(\bar{x}^k)$ запишем в следующем виде:

$$P_l(\bar{x}^k) = \sum_{\bar{i}^k \in M_l} a_{\bar{i}^k}^{(l)} r_{\bar{i}^k}(\bar{x}^k) = \sum_{\bar{i}^{k-1} \in M_l^{(k-1)}} \left(\sum_{n_k=1}^{l_l^{(k)}} a_{\bar{i}^{k-1} n_k}^{(l)} r_{n_k}(x_k) \right) r_{\bar{i}^{k-1}}(x^{k-1}) \quad (12)$$

При фиксированном $x_k^{(0)} \in G_{x_k}$ последовательность $k-1$ -кратных полиномов $P_l(\bar{x}^k)$, $i=1, 2, \dots$ сходится к нулю на E_{x_0} , откуда согласно индукционному предположению получим

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{n_k=1}^{l_l^{(k)}} a_{\bar{i}^{k-1} n_k}^{(l)} r_{n_k}(x_k) = 0 \quad \text{при } x_k^{(0)} \in G_{x_k}.$$

Դիմում է, որ $\mu(G_{x_h}) > 2^{-1}$, ապա $\lim_{h \rightarrow \infty} \alpha_h^{(i)} = 0$ ընդհանուր դեպքում, որի համար
 անհրաժեշտ է ապացուցել, որ $\mu^{(m)}(E) > 1 - 2^{-m}$ համար m -ը ցանկացած
 բնական թիվ է, որի համար $\mu^{(m)}(E) > 1 - 2^{-m}$ համար m -ը ցանկացած
 բնական թիվ է, որի համար $\mu^{(m)}(E) > 1 - 2^{-m}$ համար m -ը ցանկացած

$$[r_1(x_1) + r_2(x_1)] \cdot [r_1(x_2) + r_2(x_2)] \dots [r_1(x_m) + r_2(x_m)]$$

հասնում է 0-ին $1 - 2^{-m}$ մոտեցնելով:

Институт математики
 Академии наук Армянской ССР

2. Մ. ՄՈՒՇԵՂՅԱՆ

Ռադեմախերի սխեմանով բազմապատիկ շարքերի միակերպան մասին

Ներկա աշխատանքում ապացուցվող արդյունքը ձևակերպելու համար
 բերենք հետևյալ սահմանումը:

Սահմանում: M_i , $i = 1, 2, \dots$, թող լինի m -չափանի գրական ամ-
 բողջ կոորդինատներով վեկտորների բազմությունների դաս: Այդ դասը
 կանվանենք կանոնավոր, եթե յուրաքանչյուր M_i բազմություն վերջավոր
 է և կամայական $\bar{x}^m$ m -չափանի գրական ամբողջ կոորդինատներով վեկտո-
 րի համար գոյություն ունի $\{M_{i_k}\}_{k=1}^{\infty}$ ենթադաս այնպիսին, որ $\bar{x}^m \in M_{i_k}$, $k =$
 $= 1, 2, \dots$:

Աշխատանքում ապացուցվում է հետևյալ թեորեմը:

Թեորեմ: Դիցուք $\{M_i\}_{i=1}^{\infty}$ չափանի բազմությունների կանոնավոր
 դաս է, իսկ

$$P_i(\bar{x}^m) = \sum_{\bar{r}^m \in M_i} \alpha_{\bar{r}^m}^{(i)} r_{\bar{r}^m}(\bar{x}^m), \text{ որտեղ } \bar{x}^m \in [0, 1]^m, i = 1, 2, \dots$$

Ռադեմախերի m -պատիկ սխեմանով բազմանդամներ են: Եթե՝

$$a) \lim_{i \rightarrow \infty} P_i(\bar{x}^m) = 0, \text{ երբ } \bar{x}^m \in E, \text{ և } \mu^{(m)}(E) > 1 - 2^{-m}$$

(որտեղ $\mu^{(m)}$ -ը Լեբեգի չափն է m -չափանի տարածությունում), ապա կա-
 մայական $\bar{x}^m$ վեկտորի համար $\lim_{i \rightarrow \infty} \alpha_{\bar{r}^m}^{(i)} = 0$:

Այս թեորեմից հետևում է, որ եթե Ռադեմախերի m -պատիկ շարքը
 որևէ մեթոդով զրոյանում է զրոյի, բ) պայմանին բավարարող E բազմու-
 թյան վրա, ապա այդ շարքի գործակիցները հավասար են զրոյի:

Աշխատանքում ցույց է տրված նաև, որ այս ձևակերպումներում բ) պայ-
 մանը թուլացնել չի կարելի:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ С. Б. Стечкин, П. Л. Ульянов, Изв. АН СССР. Сер. мат., т. 26, № 2 (1962).
² В. Ф. Гапошкин, Мат. заметки, т. 16, № 6 (1974). ³ А. Зигмунд, в кн.: Тригономет-
 рические ряды, т. 1, М., 1965.

УДК 681.142.2

МАТЕМАТИКА

Г. В. Джулакян

Восходяще-анализируемые подклассы индексных языков

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. Р. Варшамовым 3/IV 1984)

Понятие индексных языков введено в ⁽¹⁾ и определено с помощью порождающего механизма индексных грамматик. В работах ⁽²⁻⁴⁾ введены классы гнездных стековых автоматов, многоуровневых магазинных автоматов и индексных магазинных автоматов соответственно. Односторонние недетерминированные гнездные стековые автоматы, магазинные автоматы уровня 2 и индексные магазинные автоматы допускают в точности класс индексных языков. В данной работе определяется класс нового типа автоматов (D_M -автомат) и выделяются подклассы индексных языков, для которых возможно построить детерминированный D_M -автомат. Существенной особенностью D_M -автомата является возможность моделирования восходящих алгоритмов разбора цепочек индексных языков, тогда как автоматами из работ ⁽²⁻⁴⁾ моделируются нисходящие алгоритмы разбора. Частные модели анализаторов индексных языков, работающих восходящим методом, введены в работах ^(5,6).

Индексной грамматикой называется пятерка $G = (N, \Sigma, F, P, S)$, где N , Σ и F конечные множества нетерминалов, терминалов и индексов соответственно, P — конечное множество правил вида $x \rightarrow \gamma$, где либо $x \in N$, $\gamma \in (NF \cup N \cup \Sigma)^*$, либо $x \in NF$, $\gamma \in (N \cup \Sigma)^*$, причем для каждого $f \in F$ существует хотя бы одно правило вида $Af \rightarrow \gamma$. Пусть $\alpha, \beta \in (NF^* \cup \Sigma)^*$. Говорят, что в грамматике G из α непосредственно выводится β , если либо

1) $\alpha = \gamma A \xi \delta$, $(A \rightarrow X_1 \eta_1 \dots X_k \eta_k) \in P$ и $\beta = \gamma X_1 \theta_1 \dots X_k \theta_k \delta$, где $\theta_i = \varepsilon$ при $X_i \in \Sigma$, $\theta_i = \eta_i \xi$ при $X_i \in N$, $1 \leq i \leq k$, либо

2) $\alpha = \gamma Af \xi \delta$, $(Af \rightarrow X_1 \dots X_k) \in P$ и $\beta = \gamma X_1 \theta_1 \dots X_k \theta_k \delta$, где $\theta_i = \varepsilon$ при $X_i \in \Sigma$, $\theta_i = \xi$ при $X_i \in N$, $1 \leq i \leq k$.

В этих обозначениях $f \in F$, $\xi \in F^*$, $\eta_i = \varepsilon$ при $X_i \in \Sigma'$, $\eta_i \in F \cup \{\varepsilon\}$ при $X_i \in N$, $\gamma, \delta \in (NF^* \cup \Sigma)^*$. Непосредственный вывод в G обозначается $\Rightarrow$. Рефлексивное и транзитивное замыкание отношения $\Rightarrow$ над множеством $(NF^* \cup \Sigma)^*$ называется выводом и обозначается $\Rightarrow^*$. Языком, порождаемым индексной грамматикой G , называется множество $L(G) = \{w/S \Rightarrow^+ w, w \in \Sigma^*\}$.

D_M -автомат состоит из управляющего устройства с конечным числом состояний и тремя ввод-выводными головками и работает над памятью, представляющей собой совокупность трех магазинных лент, одна из которых является входной, а в течение работы становится

также рабочей лентой, вторая является рабочей лентой и во многом по своей структуре похожа на гнездный стек, а третья лента служит для хранения индексов. D_M -автомат работает над алфавитами: Σ —множество входных элементов, N —множество вспомогательных символов, F —множество индексов, $\Gamma_0 = NF \cup N \cup F \cup \Sigma \cup \{\bar{s}, \bar{c}, \perp\}$ —множество рабочих элементов, где $\bar{s}, \bar{c}, \perp$ специальные символы, служащие граничными маркерами над рабочей и входной лентами. Ниже приводится формальное определение D_M -автомата. Для краткости в некоторых обозначениях положим: $\Gamma_1 = N \cup NF$; $\Gamma_2 = \Gamma_1 \cup \Sigma \cup \{\perp\}$; $A_1 = (\Gamma_2 / \{\perp\})^+$; $A_2 = A_1 \{\bar{c}\} F^*$; $A_3 = A_2 (\{\bar{s}\} A_2)^*$; $A_4 = A_3 (\{\bar{s}\} A_1)$; $E = \{\perp, \bar{c}\} F^* \{\bar{s}\} (\Gamma_2 / \{\perp\})^+$.

Формально D_M -автомат — это семерка $(Q, \Sigma, \Gamma_0, F, \delta, q_0, S)$, где Q —конечное непустое множество состояний управляющего устройства, Σ —конечное множество входных символов, Γ_0 —конечное непустое множество рабочих элементов, F —конечное множество индексов, $q_0 \in Q$ —начальное состояние управляющего устройства, $S \in \Gamma_0$ —специальный символ, показывающий успешное завершение работы D_M -автомата, $\delta = (\delta_1 \vee \delta_2 \vee \delta_3 \vee \delta_4)$ —функция переходов управляющего устройства, где (а) δ_1 —отображение множества $(Q \times \Gamma_2 \times \Sigma)$ в конечное подмножество множества $(Q \times \Sigma)$; (б) δ_2 —отображение множества $(Q \times \Gamma_2 \times F^* \times \Gamma_1 F^* \{\bar{c}\})$ в конечное подмножество множества $(Q \times \Gamma_1 \times F^*)$; (в) δ_3 —отображение множества $(Q \times \Gamma_2 \times F^* \times (\Gamma_1 F^* \{\bar{c}\} \cup \Sigma))$ в конечное подмножество множества $(Q \times \{\bar{c}\} F^* \{\bar{s}\} (\Gamma_1 \cup \Sigma) \times F^*)$; (г) δ_4 —отображение множества $(Q \times E \times F^* \times (\Sigma \cup \{\perp\}))$ в конечное подмножество множества $(Q \times \{\perp, \bar{c}\} \times F^* \times \Gamma_1 F^* \{\bar{c}\})$ и может быть еще $\delta_4(q_0, \perp, \bar{c}, \perp) = (q_0, \perp, \bar{c}, S \perp)$.

Мгновенное состояние D_M -автомата называется конфигурацией. Она определяется состоянием управляющего устройства, содержаниями входного, рабочего и индексного магазинов. Таким образом, конфигурация D_M -автомата — это четверка $(q, \perp \alpha, \xi, \beta_1 \beta_2 \perp)$, где $q \in Q$, $\xi \in F^* \alpha, \alpha \in A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4, \beta_1 \in (NF^* \{\bar{c}\} \cup \{\bar{c}\}), \beta_2 \in \Sigma^*$.

Определим над множеством конфигураций отношение перехода $\vdash$. В зависимости от значения текущей конфигурации D_M -автомата и значения функции переходов δ возможны следующие виды переходов*:

- 1) $(q, \perp \alpha_1 X, \xi, Y \beta_2 \perp) \vdash (p, \perp \alpha_1 X Y, \xi, \beta_2 \perp)^{**}$, если множество $\delta_1(q, X, Y)$ содержит элемент (p, Y) ;
- 2) $(q, \perp \alpha_1 X, \xi, X_1 \bar{c} \beta_2 \perp) \vdash (p, \perp \alpha_1 X X_1, \xi, \beta_2 \perp)$, если множество $\delta_2(q, X, \xi, X_1 \bar{c})$ содержит элемент (p, X_1, ξ) ;
- 3) $(q, \perp \alpha_1 X, \xi, X_1 \bar{c} \bar{s} \beta_2 \perp) \vdash (p, \perp \alpha_1 X \bar{c} \bar{s} X_1, \xi, \beta_2 \perp)$, если множество $\delta_3(q, X, \xi, X_1 \bar{c})$ содержит элемент $(p, \bar{c} \bar{s} X_1, \xi)$, $(q, \perp \alpha_1 X, \xi, Y \beta_2 \perp) \vdash (p, \perp \alpha_1 X \bar{c} \bar{s} Y, \bar{c}, \beta_2 \perp)$, если множество $\delta_4(q, X, \xi, Y)$ содержит элемент $(p, \bar{c} \bar{s} Y, \bar{c})$;

* В этих обозначениях приняты следующие соглашения: $\alpha_2 \in A_1 \cup A_4 \cup \{\bar{c}\}$; $\alpha_3 \in (\{\bar{c}\} \cup \{\bar{s}\} A_2)^* A_1$; $\alpha_4 \in A_1$; $X \in \Gamma_2 / \{\perp\}$; $X_1 \in \Gamma_1$; $Y \in \Sigma$.

** В случае, когда на лентах остается только символ $\perp$, переходы определяются аналогичным образом.

4) $(q, \perp, \varepsilon, \overline{s} \overline{s} \overline{s} X, \xi_1, Y \beta_2 \perp) \vdash (p, \perp, \varepsilon, X_1 \xi_1 \overline{s} Y \beta_2 \perp)$, если множество $\hat{\delta}_1(q, \overline{s} \overline{s} \overline{s} X, \xi_1, Y)$ содержит элемент $(p, \varepsilon, \xi, X_1 \xi_1 \overline{s})$.

Транзитивное замыкание отношения $\vdash$ над множеством конфигураций обозначим через $\vdash^+$, а транзитивное и рефлексивное замыкание $\vdash^*$. Будем говорить, что D_M -автомат допускает цепочку $w \in \Sigma^*$, если он, начиная свою работу с начальной конфигурации $(q_0, \perp, \varepsilon, w \perp)$, может переходить в заключительную конфигурацию $(p, \perp, \varepsilon, S \perp)$ для некоторого $p \in Q$, т. е. имеет место отношение $(q_0, \perp, \varepsilon, w \perp) \vdash^*(p, \perp, \varepsilon, S \perp)$.

Языком, допускаемым D_M -автоматом M , называется множество всех допустимых цепочек, которое обозначается через $T(M)$:

$$T(M) = \{w / (q_0, \perp, \varepsilon, w \perp) \vdash^+(p, \perp, \varepsilon, S \perp), \text{ где } p \in Q, w \in \Sigma^*\}.$$

Пусть $G = (N, \Sigma, F, P, S)$ индексная грамматика и пусть $A \in N \cup NF$; $B, C \in N$; $X, Y \in (NF \cup N \cup \Sigma)$; $f \in F$; $f_1, f_2 \in F \cup \{\varepsilon\}$; $\xi, \xi' \in F^*$; $\alpha, \beta, \gamma, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \in (NF^* \cup \Sigma)^*$.

Следующие бинарные отношения, определенные над множеством $N \cup NF \cup \Sigma \cup F$, называются отношениями предшествования:

- 1) $X = Y$, если существует некоторое правило $(A \rightarrow \alpha X Y \beta) \in P$;
- 2) $X > Y$, если существует правило $(A \rightarrow \alpha B f_1 C f_2 \beta) \in P$, хотя бы один из выводов $B \Rightarrow^+ \gamma_1 X$, $B f_1 \Rightarrow^+ \gamma_1 X$ и хотя бы один из выводов $C \Rightarrow^+ Y \gamma_2$, $C f_2 \Rightarrow^+ Y \gamma_2$;
- 3) $X < Y$, если существуют правило $(A \rightarrow \alpha X B f_1 \beta) \in P$ и хотя бы один из выводов $B \Rightarrow^+ Y \gamma_1$, $B f_1 \Rightarrow^+ Y \gamma_1$;
- 4) $X \sqsubseteq f$, если существует вывод $S \Rightarrow^+ \alpha X f \beta$ такой, что в $\alpha X f \beta$ элементы X и f появились не одновременно с применением некоторого правила $B \rightarrow \alpha' X f \beta'$.

Будем говорить, что G удовлетворяет F -условию, если для всех $X \in N$ одновременно не имеют место $(X, f) \in \{\sqsubseteq\}$ и $(A \rightarrow \alpha X f \beta) \in P$.

Пусть $G = (N, \Sigma, F, P, S)$ некоторая индексная грамматика. Над множеством $(N \cup \Sigma \cup F)^* \cup \{\rightarrow\}$ определим гомоморфную функцию h такую, что $h(X) = X$, если $X \in (N \cup \Sigma \cup \{\rightarrow\})$, и $h(X) = \varepsilon$ в противном случае. Обозначим $P' = \{h(x \rightarrow \chi) / (x \rightarrow \chi) \in P\}$. КС-грамматику $BASE(G) = (N, \Sigma, P', S)$ назовем базовой грамматикой для индексной грамматики G .

Пусть $G = (N, \Sigma, F, P, S)$ приведенная грамматика (отсутствуют бесполезные нетерминалы, выводы вида $A \rightarrow^+ A$ для $A \in N \cup NF$ и G грамматика без ε -правил). G называется:

1) индексной грамматикой простого предшествования, если а) грамматика $BASE(G)$ является КС-грамматикой простого предшествования, б) G удовлетворяет F -условию;

2) индексной грамматикой предшествования, если а) G обратима, б) $\{\langle \cdot \rangle \cap \{ \cdot \rangle\} \cup \{ \cdot \} \cap \{ \cdot \rangle\} = \emptyset$, в) когда $\{\langle \cdot \rangle \cap \{ \cdot \} = \{(X_i, Y_i)\}$, где $i = 1, 2, \dots$, то $X_i, Y_i \in N \cup NF$ и для всех сентенциальных форм $\rho_i = \alpha_i X_i \xi_i, Y_i \xi_i \beta_i$ из условия $\xi_i = \xi_i$ вытекает, что в ρ_i символы X_i и Y_i появились одновременно применением некоторого правила $A \rightarrow \alpha'_i X_i Y_i \beta'_i$; г) если в G имеются правило $A \rightarrow \alpha B C \beta$ и хотя бы одно из правил $B \rightarrow w_1$, $C \rightarrow w_2$ таких, что $w_1, w_2 \in \Sigma^+$ и $(A, f) \in \{\sqsubseteq\}$ для некоторого $f \in F$, то $(B, C) \notin \{\langle \cdot \rangle$, д) G удовлетворяет F -условию;

3) LR индексной грамматикой предшествования, если а) $FIRST_b(A) \cap FIRST_b(B) = \emptyset$ для всех тех $A, B \in N \cup NF$, для которых существуют правила вида $A \rightarrow \alpha$ и $B \rightarrow \alpha$, б) G удовлетворяет условиям б)–д) пункта 2).

Пусть $\perp$ некоторый символ, не принадлежащий множеству $N \cup NF \cup \Sigma$. Для всех $X, Y \in (N \cup NF \cup \Sigma)$, если $S \rightarrow_o^* X\alpha$, то положим $\perp < X$, и если $S \rightarrow_o^* \beta Y$, то положим $Y > \perp$. В последующих теоремах $a_i \in \Sigma$; $X_i \in N \cup NF$; $Y_i \in N \cup NF \cup \Sigma$; $f_i \in FU\{\varepsilon\}$; $\xi \in F^*$.

Теорема 1. Пусть $\alpha X_1 f_1 \xi_1 X_2 f_2 \xi_2 \beta$ некоторая сентенциальная форма в грамматике G . Тогда существуют $Y_1 \in \{X_1, X_1 f_1\}$ и $Y_2 \in \{X_2, X_2 f_2\}$ такие, что между ними имеет место хотя бы одно из отношений предшествования 1–3.

Теорема 2. Если $\perp S \perp \Rightarrow_{r,0}^n X_p X_{p-1} f_{p-1} \xi_{p-1} \dots X_{k+1} f_{k+1} \xi_{k+1} A \xi a_1 \dots a_q \Rightarrow_{r,0}^n X_p X_{p-1} f_{p-1} \xi_{p-1} \dots X_{k+1} f_{k+1} \xi_{k+1} Y_k \xi_k \dots Y_1 \xi_1 a_1 \dots a_q$, где $X_p = a_q = \perp$, и в последнем шаге вывода применилось правило $A \rightarrow Y_k \dots Y_1$, то существуют $Y_i \in \{X_i, X_i f_i\}$, $p-1 \geq i \geq k$, такие, что

- (1) $Y_{i+1} < Y_i$ или $Y_{i+1} = Y_i$ для $p-1 \geq i > k$ и $Y_{k+1} < Y_k$ и
- (2) $Y_{i+1} = Y_i$ для $k > i \geq 1$ и $Y_1 > a_1$.

Теорема 3. Пусть $G = (N, \Sigma, F, P, S)$ некоторая индексная грамматика. Тогда можно эффективно построить D_M -автомат $M = (Q, \Sigma, \Gamma_0, F, \delta, q_0, S)$ такой, что $L(G) = T(M)$.

Схема доказательства. D_M -автомат получается из G с помощью следующих построений: $Q = \{q_0\}$, $\Gamma_0 = N \cup NF \cup \Sigma \cup FU\{\bar{s}, \bar{c}, \perp\}$, а функция δ определяется с помощью отношений предшествования (предполагается, что множества $\{=\}$, $\{<\cdot\}$, $\{>\cdot\}$ и $\{|\cdot|\}$ для грамматики G известны) по следующей схеме:

- (а) $\delta_1(q_0, Z, \xi, a) = (q_0, ZA, \xi, \varepsilon)$, если $Z = a$;
- (б) $\delta_2(q_0, Z, \xi_1, A f \xi_2 \bar{c}) = (q_0, ZA, \xi)$, если $Z = A$ и
 - (1) $\xi_1 = f \xi_2 = \xi \neq \varepsilon$, $A|\cdot|f$, или
 - (2) $\xi_1 = f \xi_2 = \xi = \varepsilon$, или
 - (3) $f \xi_2 = \varepsilon$, $\xi = \xi_1$, или
 - (4) $\xi_1 = \varepsilon$, $f \xi_2 \neq \varepsilon$, $A|\cdot|f$, $\xi = f \xi_2$;
- (в) $\delta_3(q_0, Z, \xi_1, A f \xi_2 \bar{c}) = (q_0, Z \bar{c} \xi_1 \bar{s} A, f \xi_2)$, если $Z < A$ и при $f \xi_2 \neq \varepsilon$, $A|\cdot|f$, $\delta_3(q_0, Z, \xi_1, a) = (q_0, Z \bar{c} \xi_1 \bar{s} a, \varepsilon)$, если $Z < a$;
- (г) $\delta_4(q_0, \perp a Z, \xi, a) = (q_0, \perp, \varepsilon, A \xi \bar{c})$, $\delta_4(q_0, \bar{c} \xi_1 \bar{s} a Z, \xi, a) = (q_0, \varepsilon, \xi_1, A \xi \bar{c})$, если $Z > a$ и $A \rightarrow a Z$ некоторое правило в грамматике G . Если $\varepsilon \in L(G)$, то $\delta_4(q_0, \perp, \varepsilon, \perp) = (q_0, \perp, \varepsilon, S \perp)$.

В этих обозначениях $a \in \Sigma$; $Z \in \Gamma_2$; $A \in \Gamma_1$ $a \in (\Gamma_2 \setminus \{\perp\})^*$; $f \in FU\{\varepsilon\}$.

Доказательство утверждения $L(G) = T(M)$ проводится индукцией по шагам вывода грамматики G и по шагам переходов D_M -автомата M .

Так как в общем случае отношения предшествования 1–3 определяют множества с непустыми пересечениями, правые части некоторых правил могут быть одинаковыми и определения префикса и суффикса начальной цепочки входного магазина выполняются неоднозначно, то построенный в теореме 3 D_M -автомат получается недетерминированным.

Теорема 4. Пусть $G = (N, \Sigma, F, P, S)$ индексная грамматика. Если: 1) G индексная грамматика простого предшествования, или

2) G индексная грамматика предшествования, или 3) GLR индексная грамматика предшествования, то для G можно построить детерминированный D_M -автомат $M=(Q, \Sigma, \Gamma_0, F, \delta, q_0, S)$ такой, что $L(G)=T(M)$.

В заключение автор выражает благодарность А. А. Ордяну за руководство работой.

Вычислительный центр
Академии наук Армянской ССР и
Ереванского государственного университета

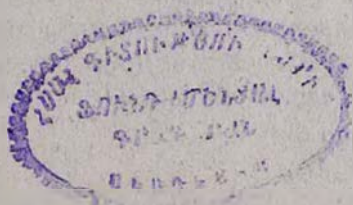
Գ. Վ. ԶՈՒԼԱԿՅԱՆ

Ինդեքսային լեզուների ներքին-վերև վերլուծվող ենթադասեր

Հոդվածում դիտարկվում է վերլուծության խնդիրը ինդեքսային քերականություններով տրվող լեզուների դասի համար: Այդ նպատակով սահմանվում է ավտոմատների նոր դաս (D_M —ավտոմատ), որոնք ի տարբերություն ինդեքսային լեզուները ճանաչող հայտնի ավտոմատների, կարող են հանդիսանալ ինդեքսային լեզուների ներքին-վերև վերլուծության ալգորիթմների մոդել: Սահմանվում են նախորդման հարաբերություններ ինդեքսային քերականությունների համար և բերվում է տրված ինդեքսային քերականությունով ծնվող ինդեքսային լեզուն ճանաչող D_M —ավտոմատ կառուցելու եղանակ: Ընդհանուր դեպքում կառուցվող D_M —ավտոմատն ստացվում է ոչ դետերմինացված: Սահմանվում են ինդեքսային քերականությունների (լեզուների) ենթադասեր, որոնց համար հնարավոր է կառուցել դետերմինացված D_M —ավտոմատ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. Ахо, в сб.: Языки и автоматы, Мир, М., 1975. ² A. V. Aho, J. ACM, v. 16, 383—406 (1969). ³ А. Н. Маслов, Проблемы передачи информации, № 1, 1976. ⁴ R. Parchmann, J. Duske, J. Specht, Inf. and Control, v. 45, 48—67 (1980). ⁵ R. W. Sebesta, N. D. Jones, Int. J. Comput. and Inf. Sci., v. 7, 345—359 (1978). ⁶ А. А. Ордян, Г. В. Джулакян, ДАН АрмССР, т. 69, № 1 (1979). ⁷ А. Ахо, Дж. Ульман, Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции, т. 1, Мир, М., 1978.



УДК 539.214 : 621.762

МЕХАНИКА

Г. В. Мусаелян

**Исследование процесса выдавливания
 пористого осесимметричного образца через плоскую матрицу
 методом конечных элементов**

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 12/IV 1984)

В технологических процессах порошковой металлургии широко используется процесс выдавливания, при котором образец, подвергаясь большим пластическим деформациям, уплотняется. Для определения силовых и геометрических параметров процесса и распределения пористости в деформированном образце необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние формоизменяющегося осесимметричного образца.

Различные известные приближенные методы решения задач выдавливания компактных материалов (¹⁻³) не дают полного представления о реальном процессе деформирования, так как использованные в них допущения в той или иной степени искажают характер процесса. Поэтому используют численные методы расчета, в частности, один из наиболее перспективных методов—метод конечных элементов (⁴).

Целью настоящей работы является теоретическое определение силовых и геометрических параметров процесса выдавливания осесимметричного образца через плоскую матрицу, распределения пористости, а также больших и малых пластических деформаций в деформированном образце. Задача решается методом конечных элементов (МКЭ), применительно к пористым материалам (⁵) с использованием теории пластического течения (⁶).

При решении осесимметричная заготовка разбивается на кольцевые элементы с треугольными поперечными сечениями. Определяются матрицы: $[D]$ —напряжений, учитывающая реальные механические характеристики материала, и $[B]$ —определяемая аппроксимацией перемещений по объему выбранного конечного элемента, на основании которых составляется матрица жесткости конечного элемента $[k]^e$:

$$[k]^e = 2\pi[B]^T[D][B]r\Delta, \quad (1)$$

где r —радиус центра тяжести элемента, относительно которого и определена матрица $[B]$; Δ —площадь поперечного сечения кольцевого элемента; $[B]^T$ —транспонированная матрица

При помощи уравнений статического равновесия каждого узла определяются элементы матрицы жесткости всего тела $[K]$.

Используя метод перемещений (⁴) и граничные условия, решаем следующую систему нелинейных алгебраических уравнений относи-

тельно компонентов приращения перемещений узловых точек $\{dq\}$:

$$\{dP\} = [K] \cdot \{dq\}, \quad (2)$$

где $\{dP\}$ —вектор-столбец приращения внешних узловых сил:

Для линейризации системы алгебраических уравнений применяется метод переменных параметров упругости ⁽⁵⁾. Определив величины компонентов перемещения в каждом узле для данного шага нагружения, можно вычислить компоненты приращения деформации $\{d\epsilon\}$, напряжения $\{\sigma\}$ и пористость в любой точке тела при помощи следующих формул ⁽⁵⁾:

$$\{d\epsilon\} = [B]\{dq\}, \quad (3)$$

$$\{\sigma\} = [D]\{d\epsilon\}, \quad (4)$$

$$v_i = v_{i-1} + \frac{9\alpha^m (1 - v_{i-1}) \bar{d}\epsilon_{\text{экр}} \cdot \sigma_0}{\beta^{3n} \cdot \sigma_{\text{экр}}}, \quad (5)$$

где α, β —функции пористости ⁽⁷⁾; m, n —параметры пористости материала; $\bar{d}\epsilon_{\text{экр}}$ —эквивалентное приращение пластической деформации; σ_0 —среднее нормальное напряжение; $\sigma_{\text{экр}}$ —эквивалентное напряжение; v_i —пористость элемента в конце данного шага нагружения.

В качестве материала используется пористое спеченное железо из порошка марки ПЖ4М2 с начальной пористостью $v_0 = 0,16$, диаграмма деформирования которого аппроксимирована зависимостью $\sigma_{\text{экр}} = 180 + 484 (\int \bar{d}\epsilon_{\text{экр}})^{0,355}$ МПа и для которого $m = 1,15, n = 0,035$ ⁽⁷⁾. В силу симметрии рассматривается половина осевого сечения образца (рис. 1), которая разделена на 162 равнобедренных прямоугольника с 100 узлами. Отношение начальной высоты заготовки к ее диаметру $h_0/d_0 = 0,5$. Безразмерная величина катета треугольного элемента $\Delta h = 0,03$.

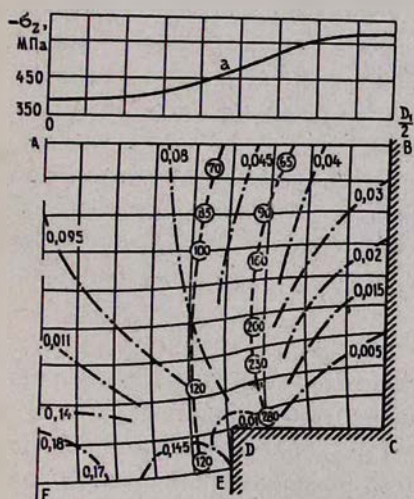


Рис. 1. Распределение компонентов напряженно-деформированного состояния пористого материала при выдавливании $\lambda = 1,8$

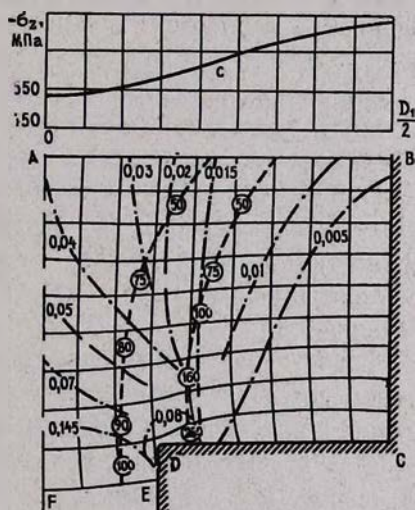


Рис. 2. Распределение компонентов напряженно-деформированного состояния пористого материала при выдавливании $\lambda = 3$

При решении задачи выдавливания имеем следующие граничные условия (рис. 1): на оси AF , поверхностях AB и BC узлы элементов перемещаются только вертикально; в точке C материал не перемещается; на поверхности DC отсутствуют вертикальные перемещения, а на DE —радиальные. На поверхностях BC , DC и DE учитываются силы трения T , которые связываются с соответствующими нормальными усилиями N законом Кулона.

$$T = fN, \quad (5)$$

где f —коэффициент трения. Силы T и N являются неизвестными внешними узловыми силами, действующими на контактных поверхностях.

Уравнения равновесия контактных узлов преобразуются с учетом зависимости (5) и условия отсутствия перемещения в направлении нормали к контактной поверхности.

Нагружение осуществляется малым шагом. Приимается, что узлы под пуансоном одинаково перемещаются вертикально вниз. В качестве примеров рассмотрены следующие случаи нагружения пористой заготовки: а) степень обжатия $\lambda = 1,8$ при $f = 0,05$ (рис. 1), б) $\lambda = 3$ при $f = 0,05$ (рис. 2). При этом безразмерная величина вертикального перемещения узлов поверхности AB одинакова ($w_{AB} = 0,048$). Величины касательных напряжений в зоне больших сдвиговых деформаций, находящейся между пунктирными линиями, обведены кружками. Штрихпунктирными линиями показаны кривые равных пористостей. Из рисунков видно, что в окрестности точки F пористость увеличивается, причем основную роль здесь играет положительное среднее нормальное напряжение ($\sigma_0 > 0$). В зоне точки C пористый материал заготовки, подвергаясь большим сжимающим напряжениям ($\sigma_0 < 0$), получает беспористую структуру. После этого в точке C материал пластически не деформируется, подобно тому, как это показано для беспористых материалов в работе (1). В окрестности точки D происходит уменьшение пористости в основном за счет больших сдвиговых деформаций и, следовательно, максимальных касательных напряжений, но беспористая структура не получается, так как точка E , перемещаясь, уменьшает величину сжимающего среднего напряжения.

При дальнейшем увеличении перемещения пуансона в окрестности точки C получается беспористая застойная зона (воронка), над поверхностью которой должен течь материал. Следовательно, будут меняться граничные условия задачи. Этот вопрос в настоящей работе не обсуждается.

Сопоставление эпюр распределения пористости на рис. 1, 2 показывает, что при увеличении степени обжатия увеличиваются неоднородность пластической деформации и размеры беспористой зоны. Что касается осевых напряжений, эпюры которых под пуансоном показаны на рис. 1, 2 кривыми a , c , то они здесь распределяются более равномерно, чем в других поперечных сечениях.

Таким образом, на основе теории пластичности пористых упрочняемых материалов с использованием метода конечных элементов исследован процесс выдавливания пористого осесимметричного образца

через плоскую матрицу. Определены распределения пористости по объему заготовки и максимальных касательных напряжений по высоте деформированного образца.

Полученные распределения компонентов напряженно-деформированного состояния и пористости материала по объему заготовки дают полное представление о процессе выдавливания порошковых материалов, что позволяет прогнозировать эксплуатационные характеристики изделий.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Գ. Վ. ՄՈՒՍԱՅԵԼՅԱՆ

Մակրոտկեն առանցքափմետրիկ նմուշի հարթ մատրիցայում արտասեղման պրոցեսի հետազոտումը վերջավոր էլեմենտների մեթոդով

Բերված է հարթ մատրիցայում ծակոտկեն առանցքափմետրիկ նախապատրաստվածքի արտասեղման ժամանակ լարվածա-դեֆորմացիոն վիճակի հետազոտումը: Խնդիրը լուծված է ծակոտկեն ամրակցվող նյութերի պլաստիկության տեսության հիման վրա, օգտագործված է վերջավոր էլեմենտների մեթոդը: Որոշված են դեֆորմացված նմուշի ամբողջ ծավալով ծակոտկենության և ըստ բարձրությամբ մաքսիմալ շոշափող լարումների բաշխումները: Ստացված արդյունքները լրիվ պատկերացում են տալիս արտասեղման մասին և հնարավոր են դարձնում պատրաստի դետալի շահագործողական հատկանիշների կանխագուշակումը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Н. Л. Перлин, Теория прессования металлов, Металлургия, М., 1964. ² М. В. Сторожев, Е. А. Попов, Теория обработки металлов давлением, Машиностроение, М., 1977. ³ Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши, Механика пластических деформаций при обработке металлов, Машиностроение, М., 1969. ⁴ О. Зенкевич, Метод конечных элементов в технике, Мир, М., 1975. ⁵ Г. Л. Петросян, Г. Г. Нерсисян, С. С. Аветян, Изв. АН АрмССР. Механика, т. 33, № 1 (1980). ⁶ Г. Л. Петросян, Изв. вузов. Машиностроение, № 5, 1975. ⁷ Г. Л. Петросян, Г. В. Мусаелян, ДАН АрмССР, т. 77, № 2 (1983).

УДК 539.3

МЕХАНИКА

Л. М. Мурадян, Р. Н. Барсегян, Р. Л. Энфиаджян

Плоская термоупругая задача для неоднородной полосы с трещинами

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 7/VI 1984)

Задачи, посвященные определению напряженного состояния однородной полосы с трещинами, рассмотрены в работах (1-3). В настоящей работе рассматривается бесконечная упругая полоса в высоком нестационарном температурном поле, когда упругие характеристики материала полосы являются функциями температуры, а ширина полосы является известной функцией времени. Учитывая существующие экспериментальные исследования для углеродистых сталей (4), изменением коэффициента Пуассона можно пренебречь, а модуль упругости можно аппроксимировать экспоненциальной функцией.

Разрешающее уравнение плоской термоупругой задачи относительно функции напряжений Эри для рассматриваемой неоднородности примет следующий вид (5):

$$\nabla \nabla \Phi + \lambda M_1(\Phi) + \lambda^2 M_2(\Phi) = -\alpha E_0(1+m)e^{-\lambda \Theta} \nabla \Theta, \quad (1)$$

где M_1 и M_2 дифференциальные операторы следующего вида:

$$M_1(\Phi) = 2\Theta_{,x} \nabla \frac{\partial \Phi}{\partial x} + 2\Theta_{,y} \nabla \frac{\partial \Phi}{\partial y} + 2(1+\nu)\Theta_{,xy} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} +$$

$$+ \Theta_{,xx} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \nu \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right) + \Theta_{,yy} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \nu \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right);$$

$$M_2(\Phi) = \Theta_{,x}^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \nu \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right) + 2(1+\nu)\Theta_{,x}\Theta_{,y} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} + \Theta_{,y}^2 \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \nu \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right),$$

λ , E_0 — постоянные аппроксимации модуля упругости; $m=0$ для плоского напряженного состояния, $m = \frac{\nu}{1-\nu}$ для плоской деформации.

Решение уравнения (1) ищем в виде ряда относительно малого параметра λ

$$\Phi = \Phi_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda^n \Phi_n, \quad (2)$$

где Φ_0 — решение плоской термоупругой задачи для неоднородного тела.

Используя (2), из (1) получим рекуррентную систему неоднородных бигармонических уравнений относительно неизвестных функций Φ_n

$$\nabla \nabla \Phi_0 = -\alpha E_0(1+m) \nabla \Theta$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix} \quad (3)$$

$$\nabla \nabla \Phi_n = -M_1(\Phi_{n-1}) - M_2(\Phi_{n-2}) - \alpha E_0(1+m) \frac{\Theta^n \nabla \Theta (-1)^n}{n!}.$$

С целью исследования сходимости решения полученной системы сначала оценим Φ_n . Как известно, бигармонический оператор является положительно определенным. Согласно (6), если правая часть n -го уравнения (3) принадлежит пространству $L_2(\Omega)$, то уравнение имеет единственное решение из пространства $W_2^{(4)}(\Omega)$ и верно следующее неравенство:

$$\|\Phi_n\|_{W_2^{(4)}(\Omega)} \leq C \left\| -M_1(\Phi_{n-1}) - M_2(\Phi_{n-2}) - \alpha E_0(1+m) \frac{\Theta^n \nabla \Theta}{n!} (-1)^n \right\|.$$

Так как $\lambda, \alpha, E_0 > 0$, согласно известному закону треугольника имеем

$$\|\Phi_n\|_{W_2^{(4)}(\Omega)} \leq C \left[\|M_1(\Phi_{n-1})\|_{L_2(\Omega)} + \|M_2(\Phi_{n-2})\|_{L_2(\Omega)} + \alpha E_0(1+m) \frac{|\Theta^n|}{n!} \|\nabla \Theta\|_{L_2(\Omega)} \right].$$

Принимая во внимание неравенства:

$$\|M_1(\Phi_{n-1})\|_{L_2(\Omega)} \leq |\Theta_m| \|\Phi_{n-1}\|_{W_2^{(4)}(\Omega)}, \quad \|M_2(\Phi_{n-2})\| \leq |\Theta_m| \|\Phi_{n-2}\|_{W_2^{(4)}(\Omega)},$$

$$\|\nabla \Theta\|_{L_2(\Omega)} \leq \|\Theta\|_{W_2^{(4)}(\Omega)},$$

где $|\Theta_m|$ наибольшее из

$$(1-\nu)(\Theta_{,x}^2 + \Theta_{,y}^2) + 2(1+\nu)|\Theta_{,x}\Theta_{,y}|$$

и

$$2[|\Theta_{,x}| + |\Theta_{,y}| + (1+\nu)|\Theta_{,xy}| + (1-\nu)(|\Theta_{,xx}| + |\Theta_{,yy}|)],$$

на основе приведенных неравенств из (3) следует, что

$$S_n < \frac{(1+C)\|\Theta\|}{[Ce^{\lambda_0|\Theta|}\lambda(1+\lambda)\alpha E_0(1+m)|\Theta^*|^{-1} - 1]}, \quad (6)$$

где $|\Theta^*|$ наибольшее из $|\Theta_m|$ и $|\Theta|$, а S_n определяется из соотношения

$$\bar{S}_n = \lambda \|\Phi_1\| + \lambda^2 \|\Phi_2\| + \dots + \lambda^n \|\Phi_n\|.$$

Учитывая, что $S_n = \lambda \Phi_1 + \lambda^2 \Phi_2 + \dots + \lambda^n \Phi_n$,

получаем неравенство $\bar{S}_n > S_n$.

Если $\lambda < \lambda_0$, где λ_0 наименьший положительный корень уравнения

$$\lambda_0(\lambda_0 + 1)e^{\lambda_0|\Theta|} = [\alpha E_0(1+m)|\Theta^*|C]^{-1}, \quad (7)$$

то ряды для S_n и его производных по пространственным координатам до четвертого порядка включительно в области Ω сходятся абсолютно и равномерно.

Рассмотрим плоскую термоупругую задачу для бесконечной полосы с двумя коллинеарными поперечными трещинами (рис. 1).

Эта задача сводится к решению рекуррентной системы бигармо-

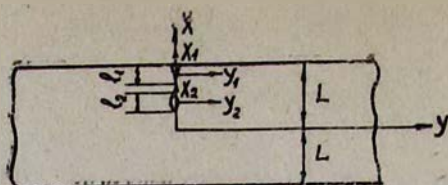


Рис. 1

иических неоднородных уравнений (3) при следующих граничных условиях:

$$\frac{\partial^2 \Phi_n}{\partial x^2} = -P_n(x_i); \quad |x_i| \leq l_i, \quad y=0, \quad i=1, 2 \quad (8)$$

где $P_n(x_i) = \frac{\partial^2 \Phi_n^*}{\partial x^2}$, а Φ_n^* —решение рекуррентной системы бигармонических неоднородных уравнений для сплошной полосы с заданной неоднородностью при однородных граничных условиях.

Применяя метод Колосова—Мухелишвили, сформулированную граничную задачу для бесконечной неоднородной полосы можно свести к решению следующей системы сингулярных интегральных уравнений (2):

$$\int_{-l_n}^{l_n} \frac{g'_{nm}(t)}{t-x} dt + \sum_{k=1}^n \int_{-l_k}^{l_k} \left[g'_{km}(t) R_{nk}(t, x) + \bar{g}'_{km}(t) S_{nk}(t, x) \right] dt = \pi P_{nm}(x),$$

$$\int_{-l_n}^{l_n} g'_{nm}(t) dt = 0 \quad |x| < l_n \quad n=1, 2, \quad (9)$$

где $g_{nm}(x)$ —неизвестная комплексная функция, характеризующая разрыв перемещений в m -ом приближении на линиях разрывов. $\bar{g}_{nm}(x)$ является комплексно сопряженной с $g_{nm}(x)$.

$$P_{nm}(x) = \sigma_{nm}^+(x) - i\tau_{nm}^+(x) = \sigma_{nm}^-(x) - i\tau_{nm}^-(x); \quad (10)$$

$$R_{nk}(t, x) = (1 - \delta_{nk}) k_{nk}(t, x) + r_{nk}(t, x);$$

$$S_{nk}(t, x) = (1 - \delta_{nk}) L_{nk}(t, x) + S_{nk}(t, x); \quad (11)$$

$k_{nk}(t, x)$; $L_{nk}(t, x)$; $r_{nk}(t, x)$ и $S_{nk}(t, x)$ определяются известными соотношениями (2).

Приведем решение полученной системы (9) для полосы с одной краевой трещиной, когда температурное поле симметрично относительно трещины.

Выделив особенность у вершины трещины, ищем неизвестную функцию перемещения $v(\tau)$ в виде интерполяционного полинома Лагранжа по чебышевским узлам $\tau_k = \cos \frac{2k-1}{2N} \pi$, $k=1, 2, \dots, N$, где N —натуральное число.

Используя квадратурные формулы Гаусса (2), методом механических квадратур из интегрального уравнения (9) получаем систему линейных алгебраических уравнений для определения N неизвестных функций

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left\{ \frac{u_{km}(t_k)}{t_k - x_n} + \lambda [u_{km}(t_k)(a(t_k, x_n) + b(t_k, x_n))] \right\} = P_{km}(x_n),$$

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (-1)^{k+1} u_{km}(t_k) \operatorname{ctg} \frac{2k-1}{4N} \pi = 0,$$

где $u_m(x) = v'(x) \sqrt{1-x^2}$, $x_n = \cos \frac{\pi n}{N}$, $n = 1, 2, \dots, N-1$, $\lambda = \frac{L}{L(t)}$, а $a(t_k, x_n)$, $b(t_k, x_n)$ получаются из выражений $R_{II}(t, x)$ и $S_{II}(t, x)$ соответственно (11).

Коэффициент интенсивности напряжений у вершины трещины определится по формуле (2)

$$K = K_0 + \sum_{m=1}^{\infty} K_m \lambda^m,$$

где

$$k_m = \sqrt{L} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (-1)^{k+N} u_{km}(t_k) \operatorname{tg} \frac{2k-1}{4N} \pi.$$

Числовые вычисления проведены для температурной функции, которая соответствует решению задачи теплопроводности при граничных условиях первого рода

$$T = \frac{2}{a(\tau)} \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left(-\frac{\kappa \pi^2 n^2 \tau}{a^2(\tau)} \right) \sin \frac{\pi n x}{a(\tau)} \left[\int_0^{a(\tau)} f'(x') \sin \frac{\pi n x'}{a(\tau)} dx' + \right.$$

$$\left. + \frac{\pi \kappa n}{a(\tau)} \left(\int_0^{\tau} \exp \left(\frac{\kappa \pi^2 n^2 \lambda}{a^2(\tau)} \right) \varphi_1(\lambda) d\lambda - (-1)^n T_c \tau \right) \right],$$

где κ — коэффициент температуропроводности; $\varphi_1(\tau)$ — функция, определяющая охлаждение кромки полосы с трещиной; T_c — температура на поверхности полосы без трещины; $f(x)$ — начальное распределение температурного поля.

На рис. 2 приводится график изменения во времени коэффициента интенсивности напряжений у вершины трещины для следующих значений известных функций и параметров, приведенных в решении:

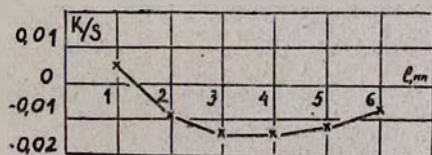


Рис. 2

$$a(t) = a_0 + k\sqrt{t} \quad f(t) = T_c - \frac{T_c - \varphi_1(t)}{a(t)} x$$

$$T_c = 1470^\circ \quad \sigma_0 = 15 \text{ мм}$$

$$\varphi_1(t) = 930^\circ \quad \alpha = 12 \text{ мм}^2/\text{сек} \quad k = 2,75 \text{ мм}(\text{сек})^{-1/2}.$$

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Լ. Մ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ, Ռ. Ն. ԲԱՐՍԵՂՅԱՆ, Ռ. Լ. ԷՆՖԻԱՋՅԱՆ

Ճախեր ունեցող անհամասեռ շերտի ջերմաառաձգական հարթ խնդիրը

Դիտարկված է ջերմաառաձգական հարթ խնդիրը, ջերմաստիճանից կախված առաձգական հատկություններով նյութի համար, խնդիրը լուծված է փոքր պարամետրի ևղանակով և ապացուցված է լուծման ընթացքի հավասարաչափ և բացարձակ զուգամիտությունը: Գնահատված է զուգամիտության շառավիղը:

Ծրկու լայնական համառանցք ճաքեր ունեցող անհամասեռ անվերջ շերտի ջերմաառաձգական խնդիրը բերված է սինգուլյար ինտեգրալ հավասարումների ռեկուրենտ սիստեմի լուծման: Հավասարումների սիստեմը լուծված է մեկ եզրային ճաք ունեցող անվերջ շերտի համար: Կատարված է թվային հաշվարկ և կառուցված է ճաքի գագաթում լարումների ինտենսիվության գործակցի փոփոխման գրաֆիկը՝ կախված ճաքի երկարությունից:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Н. И. Мусхелишвили, Некоторые основные задачи математической теории упругости, Наука, М., 1966. ² В. В. Панасюк, М. П. Саврук, А. П. Дачишин, Распространение напряжений около трещины в пластинах и оболочках, Наукова думка, Киев, 1976. ³ В. В. Панасюк, Предельное равновесие хрупких тел с трещинами, Наукова думка, Киев, 1968. ⁴ Р. Н. Барсегян, Л. М. Мурадян, О. М. Сапонджян и др. (Отчет ЕрПИ: Б—991250), Ереван, 1980. ⁵ Л. П. Тер-Мкртчян, ПММ, т. 25, № 6 (1961). ⁶ С. Г. Михлин, Вариационные методы в математической физике, Наука, М., 1970.

УДК 539. 376

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

Ф. М. Поладян

Ползучесть составного сектора кругового кольца с поперечным сечением, ограниченным тремя неконцентрическими окружностями при кручении

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 7/VI 1984)

Рассматривается задача о кручении составного сектора кругового кольца (кривой стержень), поперечное сечение которого состоит из N различных областей, материалы которых обладают свойством наследственной ползучести с различными мерами ползучести и модулями мгновенного сдвига (¹).

Пусть рассматриваемый сектор кругового кольца с постоянным поперечным сечением находится под воздействием перерезывающих сил P и крутящих моментов PR (R —радиус оси сектора кругового кольца), приложенных на торцевых сечениях (рис. 1).

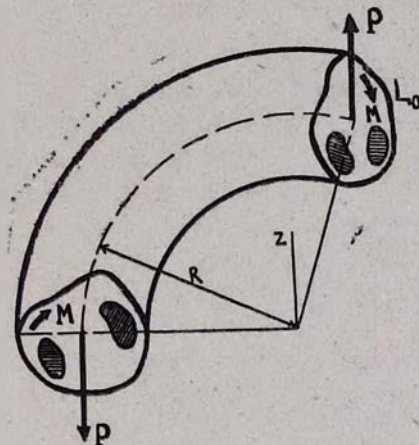


Рис. 1. Составной сектор кругового кольца, находящийся под воздействием перерезывающих сил P и крутящих моментов $M=PR$, приложенных на торцевых сечениях

Задачи кручения однородных кривых стержней исследованы в работах (²⁻⁵). В работе (⁶) рассмотрено кручение составного сектора кругового кольца с прямоугольным поперечным сечением при нелинейной ползучести.

1. Примем, что в области Ω_m между компонентами деформаций ползучести и напряжениями имеют место соотношения Маслова—Арутюняна (¹)

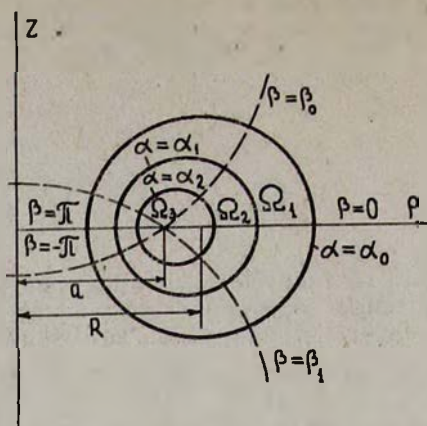


Рис. 2. Семейство окружностей с полюсом и семейство дуг окружностей, ортогональных к ним

$$2G_m \varepsilon_{ij}^{(m)} = s_{ij}^{(m)} - \int_{\tau_1}^t s_{ij}^{(m)} K_m(t, \tau) d\tau \quad (m = \overline{1, N}), \quad (1.1)$$

где G_m — модуль сдвига, $s_{ij}^{(m)} = \sigma_{ij}^{(m)} - \delta_{ij}^{(m)} \sigma^{(m)}$, δ_{ij} — символ Кронекера, $\sigma^{(m)}$ — среднее давление, $K_m(t, \tau) = 3G_m \frac{\partial C_m(t, \tau)}{\partial \tau}$, $C_m(t, \tau)$ — мера ползучести в области Ω_m .

Воспользуемся тороидальными координатами α, β, γ : $x = \rho \cos \gamma$, $y = \rho \sin \gamma$, $z = H \sin \beta$, где $\rho = a \cdot \operatorname{sh} \alpha \cdot (\operatorname{ch} \alpha - \cos \beta)^{-1}$, $H = a (\operatorname{ch} \alpha - \cos \beta)^{-1}$, здесь $0 \leq \alpha \leq \infty$, $-\pi \leq \beta \leq \pi$, $0 \leq \gamma < 2\pi$ (рис. 2).

Полагая в уравнениях равновесия (1) отличными от нуля только напряжения $\sigma_{\alpha\gamma}^{(m)}$ и $\sigma_{\beta\gamma}^{(m)}$ ($m = 1, 2, \dots, N$), получим

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (H \rho^2 \sigma_{\beta\gamma}^{(m)}) + \frac{\partial}{\partial \beta} (H \rho^2 \sigma_{\alpha\gamma}^{(m)}) = 0 \quad (m = \overline{1, N}), \quad (1.2)$$

а из остальных уравнений следует, что напряженное состояние сектора кольца не зависит от γ , следовательно, тензор деформации также не зависит от γ .

Аналогично (4.5) получим уравнение совместности деформаций

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left[\frac{H}{\rho} \varepsilon_{\beta\gamma}^{(m)} \right] - \frac{\partial}{\partial \beta} \left[\frac{H}{\rho} \varepsilon_{\alpha\gamma}^{(m)} \right] = D \frac{H^2}{\rho^3}, \quad (m = \overline{1, N}), \quad (1.3)$$

где $D = D(t)$ — произвольная функция от t .

Полагая равными нулю все компоненты деформаций, кроме $\varepsilon_{\alpha\gamma}^{(m)}$ и $\varepsilon_{\beta\gamma}^{(m)}$, получим систему относительно перемещений. Решения этой системы уравнений позволяют получить выражения для перемещений.

В каждой области Ω_m , вводя функцию напряжений $\Phi_m(\alpha, \beta, t)$

$$\sigma_{\alpha\gamma}^{(m)} = -\frac{1}{H \rho^2} \frac{\partial \Phi_m}{\partial \beta}, \quad \sigma_{\beta\gamma}^{(m)} = \frac{1}{H \rho^2} \frac{\partial \Phi_m}{\partial \alpha} \quad (m = \overline{1, N}),$$

при помощи соотношения (1.1), (1.3) получаем

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\rho^3} \frac{\partial \Phi_m}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{1}{\rho^3} \frac{\partial \Phi_m}{\partial \beta} \right) - \int_{\tau_1}^t \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\rho^3} \frac{\partial \Phi_m}{\partial z} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{1}{\rho^3} \frac{\partial \Phi_m}{\partial \beta} \right) \right] K_m(t, \tau) d\tau = D G_m \frac{H^2}{\rho^3} \quad (m = \overline{1, N}). \quad (1.4)$$

Аналогично ⁽⁹⁾ можно получить контурные условия и условия на линиях контакта L_{ij} :

$$\Phi_m(\alpha, \beta, t) = 0 \text{ на } L_0, \quad (1.5)$$

$$\Phi_i(\alpha, \beta, t) = \Phi_j(\alpha, \beta, t) \text{ на } L_{ij}, \quad (1.6)$$

$$\frac{1}{G_i} \frac{\partial \Phi_i}{\partial n} - 3 \int_{\tau_1}^t \frac{\partial \Phi_i}{\partial n} \frac{\partial C_i(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau = \frac{1}{G_j} \frac{\partial \Phi_j}{\partial n} - 3 \int_{\tau_1}^t \frac{\partial \Phi_j}{\partial n} \frac{\partial C_j(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau \text{ на } L_{ij}, \quad (1.7)$$

где n — нормаль к L_{ij} .

Крутящий момент выражается формулой

$$M = \sum_{m=1}^N \int_{\Omega_m} \int [(\rho - R) \sigma_{z\tau}^{(m)} - z \sigma_{\rho\tau}^{(m)}] d\Omega = 2R \sum_{m=1}^N \int_{\Omega_m} \int \frac{\Phi_m}{\rho^3} d\Omega.$$

2. Рассмотрим задачу о кручении составного сектора кругового кольца, поперечное сечение которого состоит из трех областей, ограниченных неконцентрическими окружностями (рис. 2). Пусть в области Ω_2 материал обладает свойством ползучести, а в областях Ω_1 и Ω_3 справедлив закон Гука.

Вводя новую функцию $\Psi_m(\alpha, \beta, t)$ при помощи соотношения $\Phi_m(\alpha, \beta, t) = (\text{ch}\alpha - \cos\beta)^{-3/2} \text{sh}^2\alpha \cdot \Psi_m(\alpha, \beta, t)$, из (1.4) получаем уравнение с разделяющимися переменными

$$\frac{\partial^2 \Psi_m}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \Psi_m}{\partial \beta^2} + \text{cth}\alpha \frac{\partial \Psi_m}{\partial \alpha} + \left(\frac{1}{4} - \frac{4}{\text{sh}^2\alpha} \right) \Psi_m = H^2 A^{-1} f_m(t) \quad (m = 1, 2, 3) \quad (2.1)$$

где $A = \text{sh}^2\alpha (\text{ch}\alpha - \cos\beta)^{-3/2}$; $f_2(t) = G_2 [D(t) + \int_{\tau_1}^t D(\tau) R_2(t, \tau) d\tau]$; $f_i(t) = G_i D(t)$, $i = 1, 3$; $R_2(t, \tau)$ — резольвента ядра $K_2(t, \tau)$. Для меры ползучести $C_2(t, \tau) = \left(C_0 + \frac{A_1}{\tau} \right) [1 - e^{-\eta(t-\tau)}] R_2(t, \tau)$ определяется так, как в ⁽⁵⁾.

Решение систем уравнений (2.1) при граничных условиях (1.5) — (1.6) можно представить в виде

$$F_1(\alpha, \beta, t) = \frac{\Pi_{-1/2}^2(\alpha_0, \alpha)}{2\Pi_{-1/2}^2(\alpha_0, \alpha_1)} [a_{01}(t) P_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha_1) + a_{02}(t) Q_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha_1)] + \\ + \frac{1}{2} \left[\frac{\Pi_{-1/2}^2(\alpha, \alpha_1)}{\Pi_{-1/2}^2(\alpha_0, \alpha_1)} \alpha b(t) + \frac{\Pi_{-1/2}^2(\alpha_0, \alpha)}{\Pi_{-1/2}^2(\alpha_0, \alpha_1)} \beta d(t) \right] + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\Pi_{n-1/2}^2(\alpha_0, \alpha)}{\Pi_{n-1/2}^2(\alpha_0, \alpha_1)} [a_{n1}(t) P_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha_1) + a_{n2}(t) Q_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha_1)] \right] \cos n\beta + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\Pi_{n-1/2}^2(\alpha, \alpha_1)}{\Pi_{n-1/2}^2(\alpha_0, \alpha_1)} \alpha_n^1(t) + \frac{\Pi_{n-1/2}^2(\alpha_0, \alpha)}{\Pi_{n-1/2}^2(\alpha_0, \alpha_1)} \beta_n^1(t) \right] \cos n\beta, \quad (2.2)$$

$$F_2(\alpha, \beta, t) = \frac{1}{2} [a_{01}(t)P_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha) + a_{02}(t)Q_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha)] + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} [a_{n1}(t)P_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha) + a_{n2}(t)Q_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha)] \cos n\beta, \quad (2.3)$$

$$F_3(\alpha, \beta, t) = \frac{Q_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha)}{2Q_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2)} [a_{01}(t)P_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2) + a_{02}(t)Q_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2)] - \\ - \frac{Q_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha)}{2Q_{-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2)} \gamma_0^1(t) + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{Q_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha)}{Q_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2)} a_{n1}(t)P_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2) + \right. \\ \left. + a_{n2}(t)Q_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2) \right\} - \frac{Q_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha)}{Q_{n-1/2}^2(\text{ch}\alpha_2)} \gamma_n^1(t) \Big\} \cos n\beta, \quad (2.4)$$

где

$$\Psi_l(\alpha, \beta, t) = F_l(\alpha, \beta, t) + f_l(t)z^2/2A \quad (l=1, 2, 3),$$

$$\alpha_n^1(t) = - \frac{f_1(t)a^2}{\pi \text{sh}^2 \alpha_0} \int_0^\pi \frac{\sin^2 \beta \cos n\beta}{(\text{ch}\alpha_0 - \cos \beta)^{1/2}} d\beta \quad (n=0, 1, 2, \dots),$$

$$\beta_n^1(t) = \frac{[f_2(t) - f_1(t)]a^2}{\pi \text{sh}^2 \alpha_1} \int_0^\pi \frac{\sin^2 \beta \cos n\beta}{(\text{ch}\alpha_1 - \cos \beta)^{1/2}} d\beta \quad (n=0, 1, 2, \dots),$$

$$\gamma_n^1(t) = \frac{[f_3(t) - f_2(t)]a^2}{\pi \text{sh}^2 \alpha_2} \int_0^\pi \frac{\sin^2 \beta \cos n\beta}{(\text{ch}\alpha_2 - \cos \beta)^{1/2}} d\beta \quad (n=0, 1, 2, \dots),$$

$$\Pi_n^m(\alpha, \beta) = P_n^m(\text{ch}\alpha)Q_n^m(\text{ch}\beta) - P_n^m(\text{ch}\beta)Q_n^m(\text{ch}\alpha),$$

а $P_n^m(\text{ch}\alpha)$ и $Q_n^m(\text{ch}\alpha)$ — присоединенные сферические функции Лежандра соответственно первого и второго рода.

Используя условия (1.7), из (2.2) — (2.4) приходим к двум бесконечным системам интегральных уравнений относительно $a_{nl}(t)$:

$$B_{00}^j[a_{01}(t) + a_{02}(t)] + 2B_{01}^j[a_{11}(t) + a_{12}(t)] - \int_{\tau_1}^t \{A_{00}^j[a_{01}(\tau) + \\ + a_{02}(\tau)] + 2A_{01}^j[a_{11}(\tau) + a_{12}(\tau)]\} K_2(t, \tau) d\tau = 2h_0^j, \quad (2.5)$$

$$\sum_{l=n-1}^{n+1} \left\{ B_{nl}^j[a_{l1}(t) + a_{l2}(t)] - \int_{\tau_1}^t A_{nl}^j[a_{l1}(\tau) + a_{l2}(\tau)] K_2(t, \tau) d\tau \right\} = h_n^j(t) \\ (n=1, 2, \dots), \quad (j=1, 2).$$

Коэффициенты и свободные члены определяются через функции

$$P_n^m(\text{ch}\alpha), Q_n^m(\text{ch}\alpha), \alpha_n^1(t), \beta_n^1(t), \gamma_n^1(t).$$

Пользуясь асимптотическим разложением присоединенных функций Лежандра $P_n^m(\text{ch}\alpha)$, $Q_n^m(\text{ch}\alpha)$ при больших значениях n , аналогично ⁽⁸⁾ доказывается квазिवполне регулярность систем (2.5) при $t=\tau_1$, $t=\infty$ и в случае $K_2(t, \tau) = K(t-\tau)$.

Получены следующие оценки:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\left| \frac{B_{n,n-1}^j}{B_{nn}^j} \right| + \left| \frac{B_{n,n+1}^j}{B_{nn}^j} \right| \right] = (cha_j)^{-1}, \quad (j=1, 2).$$

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Յ. Մ. ՓՈԼԱԴՅԱՆ

Երեւի ոչ համակենտրոն շրջանագծերով սանմանափակված լայնական
կտրվածքով բաղադրյալ շրջաւնային օղակի սեկտորի սողի
ոլորման դեպքում

Ուսումնասիրվում է ժառանգական սողի հատկությամբ օժտված սող-
քի տարբեր չափեր ունեցող նյութերից կազմված կոր ձողի ոլորման խնդիրը:
Օգտվելով թորական կոորդինատային համակարգից, խնդիրը յուրա-
քանչյուր տիրույթում բերվում է ինտեգրա-դիֆերենցիալ հավասարման ին-
տեգրմանը խառը եզրային պայմաններով:

Ուսումնասիրվում է այն դեպքը, երբ ուղղահայաց հատույթը սահմանա-
փակված է երեք ոչ համակենտրոն շրջանագծերով:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- ¹ Н. Х. Арутюнян, Некоторые вопросы теории ползучести, ГИТТЛ, М.—Л., 1952.
² W. Freiburger, Austral. J. Scient. Res. Ser. A. v. 2. № 3 (1949). ³ М. А. Задоян
ДАН СССР, т. 223, № 2 (1975). ⁴ Ф. М. Поладян, Изв. АН АрмССР. Механика, т. 34,
№ 2 (1981). ⁵ Ф. М. Поладян, Изв. АН АрмССР. Механика, т. 34, № 3 (1981). ⁶ Ф. М.
Поладян, ДАН АрмССР, т. 75, № 2 (1982). ⁷ В. В. Новожилов, Теория упругости,
Судстройиздат, М.—Л., 1962. ⁸ М. А. Задоян, Ф. М. Поладян, Изв. АН АрмССР. Меха-
ника, т. 36, № 5 (1983).

УДК 621.383.51

ФИЗИКА

Член-корр. АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц, С. А. Тарумян**Преобразование солнечной энергии в электрическую
с использованием голографических концентраторов**

(Представлено 2/VI 1984)

Фотопреобразователи изготавливались из $p-p^+$ кремния, где эпитаксиально выращенный p -слой имел толщину $10 \div 15$ мкм. R -слой образовался диффузией бора со стороны p открытым способом без газовой продувки (¹). Глубина залегания $p-p$ перехода составила $3 \div 4$ мкм. Использование p^+ кремния позволяет получить приборы с достаточно низким базовым сопротивлением, что, как известно, приводит к возрастанию тока короткого замыкания $I_{кз}$ и увеличению к.п.д. η . При облучении со стороны r -слоя указанные параметры фотопреобразователей должны быть лучше, чем в приборах без эпитаксиального p -слоя, так как время жизни неосновных носителей в этом слое больше, чем в p^+ слое. Подобная структура, но с r -типа базой, рассмотрена в (²). Эффективная площадь изготовленных образцов составила приблизительно 10 мм^2 . Свойства фотопреобразователей исследовались при однократном и концентрированном солнечном облучении.

Как известно, интенсивность солнечного облучения в данной точке поверхности земли сильно зависит как от состояния атмосферы, так и от высоты солнца над горизонтом. В ясный, солнечный день измеренная нами интегральная мощность этого облучения составила $0,05 \div 0,1 \text{ Вт/см}^2$. Однако следует указать, что чувствительность фотопреобразователей зависела не только от величины падающей мощности, но и от момента проведения измерений. Последнее связано с изменением во времени спектральной интенсивности падающих на образец солнечных лучей, что в свою очередь обусловлено изменением состава и плотности частиц и газов, находящихся в атмосфере в данном регионе. Измеренные нами наибольшие величины $I_{кз}$ и напряжения холостого хода U_{xx} при максимальной интенсивности облучения составили соответственно $1,6 \text{ мА}$ и $0,42 \text{ В}$. Измеренная максимальная величина коэффициента полезного действия при интегральном солнечном облучении составила $4,2\%$. Хотя интенсивность этого облучения в течение дня менялась в два раза, нам все же не удалось установить какие-либо зависимости $I_{кз}$, U_{xx} и η от падающей мощности, так как чувствительность фотопреобразователей сильно зависит и от спектральной интенсивности света. Как уже было отмечено, при одной и той же падающей мощности излучения величины указанных параметров сильно зависят от времени проведения измерений, когда успевают меняться примесный и процентный состав атмосферы.

Дальнейшие исследования свойств фотопреобразователей были выполнены с помощью голографического концентратора с рабочей поверхностью 12×12 см². До проведения измерений были изучены концентрирующие свойства этой линзы. Наблюдения показали, что при перпендикулярном падении параллельных световых лучей на поверхность пластины последняя разлагает белый свет на системы спектров с фокусами, расположенными на линии, проходящей через центр концентратора и параллельной направлению падающих световых лучей. Размеры цветowych пятен на фокальной плоскости возрастают с удалением от концентратора. В каждой системе спектра цвета начиная от красного, который расположен ближе к концентратору, чередуются в соответствии с уменьшением длины волны. При этом за фиолетовым цветом одной системы спектра располагается красный цвет следующей системы. Интенсивность цветов, оцениваемая визуально, в первой системе спектра, которая расположена ближе к концентратору, довольно слаба по сравнению с другими пакетами.

При исследовании концентрирующих свойств разных участков голографической линзы выяснилось, что центральные области отклоняют лучи сильнее, чем периферийные части. Таким образом, наблюдаемые пакеты цветов являются следствием уменьшения угла отклонения падающих лучей по мере удаления от центральных областей линзы. Нами была определена также степень концентрации падающих лучей. Для этого на черной бумаге вырезалось окошечко размерами 3×3 мм², и она накладывалась на линзу так, чтобы закрылись все остальные части, кроме этого окошечка. На расстоянии 10 см от линзы мы получали три неперекрывающихся изображения вырезанного окошечка. Среднее изображение соответствовало неотклоненным лучам, а два других — отклоненным. Причем одно из них отклонялось к оси линзы, проходящей через ее середину, а другое отходило от этой оси. Таким образом, только первый отклоненный луч давал вклад в концентрированную мощность. Измеренная величина этой мощности составляет 20% от первичной падающей мощности.

Исследования показали, что целесообразнее измерения параметров фотопреобразователей проводить во второй системе спектров, где интенсивность концентрированных пучков наибольшая, а размеры пятен составляют около 6×6 мм². Следует отметить, что при облучении концентратора расходящимися пучками от лампы накаливания размеры цветowych пятен в $2 \div 3$ раза больше, чем при освещении перпендикулярными световыми пучками. Измерения показали, что при солнечном облучении максимальная чувствительность фотопреобразователей проявляется при красном свете. Чувствительность приборов падает по мере их передвижения в сторону фиолетовой части спектра. На рис. 1 представлена зависимость тока короткого замыкания от мощности облучения. Изменение мощности сопровождается также изменением длины волны света, так как представленная на рисунке кривая получена при помещении образцов в разные максимумы спектра. При падающей интегральной мощности $0,1$ Вт/см² на концентратор наибольшая величина тока короткого замыкания приборов с площадью 10 мм² на красном свете второй системы спектров составила 22 мА. На рис. 2

представлена зависимость к.п.д. фотопреобразователей от длины волны света. В указанном интервале изменения длин волн падающая на образец мощность меняется в два раза. Как видно из рис. 1 и 2, в

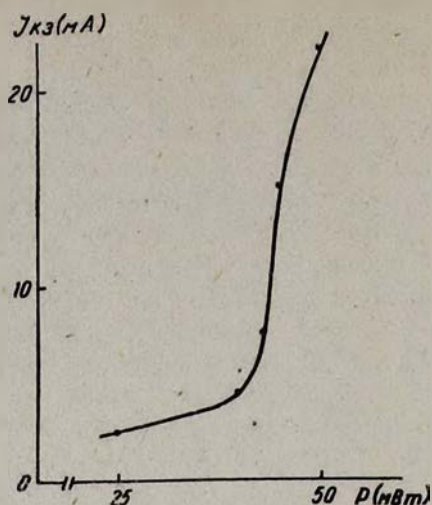


Рис. 1. Зависимость тока короткого замыкания от мощности излучения, падающего на образец (длина волны меняется от фиолетового до красного)

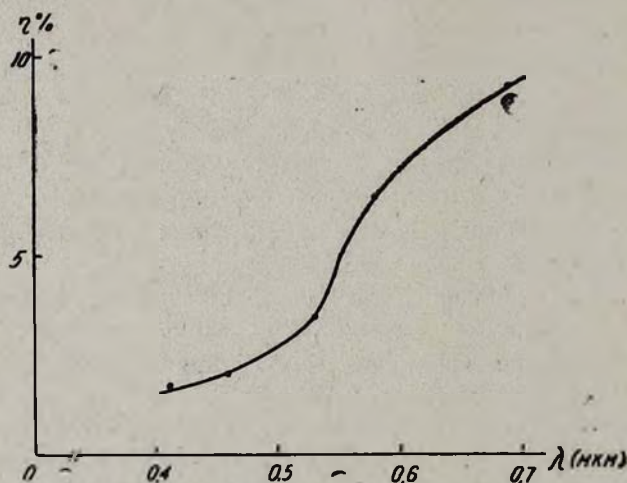


Рис. 2. Зависимость к.п.д. фотопреобразователей от длины волны излучения (мощность меняется согласно рис. 1)

указанном интервале изменения длин волн и мощностей наибольшая селективная величина к.п.д. составила 9,2%, интегральная же величина к.п.д. составила около $10^{-2}\%$.

Следует заметить, что концентрированная на образец мощность красных лучей была равна 0,05 Вт, в то время как падающая интегральная мощность на ту же площадь составила 0,012 Вт. Таким образом, изменение падающей мощности в 4 раза привело к увеличению тока короткого замыкания в 15 раз. Нарушение линейной зависимости

$I_{\text{кн}}$ от падающей мощности вызвано изменением спектрального состава излучения.

При освещении голографического концентратора расходящимися пучками света от лампы накаливания были получены несколько иные закономерности изменения параметров фотопреобразователей. В частности, выяснилось, что максимальная чувствительность приборов наблюдается в сине-фиолетовой части спектра, в то время как падающая мощность наибольшая в красной части. Это противоречие легко можно понять, если учесть, что цвета в спектре различались визуально. То обстоятельство, что наибольшая мощность приходится на красную область, а максимальная чувствительность наблюдается в фиолетовой части спектра, свидетельствует о том, что измеряющий мощности прибор регистрирует и инфракрасные лучи следующего пакета длин волн. Иначе говоря, происходит перекрытие фиолетовой области одного пакета инфракрасной областью следующего пакета длин волн. Из приведенных рассуждений следует, что концентрирующие и разлагающие в спектр свойства голографических концентраторов лучше проявляются при параллельных пучках света. Добавим также, что максимальное значение селективного к.п.д. составило около 6,5%. Такие низкие значения к.п.д. объясняются малой мощностью света, отдаваемой лампой накаливания.

Резюмируя вышесказанное, мы приходим к выводу, что в сочетании с фотопреобразователями могут быть эффективно использованы те голографические концентраторы, которые концентрируют белый свет в одной точке, не разлагая в спектр, либо разлагают в спектр в перпендикулярном к падающему пучку направлении. В последнем случае в каждом цветовом фокусе можно поместить по одному фотопреобразователю, что в принципе невозможно сделать в вышеописанном концентраторе. Целесообразность использования голографических концентраторов, не разлагающих белый свет в спектр, может быть обоснована тщательным экономическим анализом, доказывающим эффективность последних как по сравнению с зеркальными концентраторами, так и при получении определенной мощности от фотопреобразователей без концентраторов.

Если через $C_{\text{к}}$ обозначить стоимость одного ватта электроэнергии, получаемой с помощью концентраторов, а через $C_{\text{б}}$ —стоимость одного ватта с установки без концентратора, то нетрудно показать наличие следующего соотношения:

$$\frac{C_{\text{к}}}{C_{\text{б}}} = \frac{C \cdot S}{M \cdot C \cdot S_{\text{ф}}} \left(1 + \frac{C_{\text{к}}}{C \cdot S_{\text{фк}}} \right) \frac{\eta_{\text{ф}}}{\eta_{\text{к}}} \cdot \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{фк}}}, \quad (1)$$

где $CS_{\text{фк}}$ —стоимость кремниевых фотопреобразователей с площадью $S_{\text{фк}}$ в установке с концентратором, $CS_{\text{ф}}$ —стоимость кремниевых фотопреобразователей в установке без концентратора, $C_{\text{к}}$ —стоимость концентратора, M —кратность мощности по солнцу, падающему на площадь $S_{\text{фк}}$, $\eta_{\text{ф}}$ —к. п. д. фотопреобразователя без концентратора, $\eta_{\text{к}}$ —то же самое, но уже с концентратором. Из приведенной формулы видно, что если $C_{\text{к}}/C_{\text{б}} < 1$, то стоимость одного ватта на установ-

ке с концентратором дешевле, чем без концентратора и, таким образом, его использование экономически выгодно.

В нашем случае можно взять $M=5$, $\frac{C \cdot S_{\text{фк}}}{C \cdot S_{\text{ф}}} \cdot \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{фк}}} \sim 1$, $\frac{\eta_{\text{ф}}}{\eta_{\text{к}}} \sim \frac{1}{2}$;

тогда будем иметь

$$\frac{C_{\text{к}}}{C_{\text{б}}} \sim \frac{1}{10} \left(1 + \frac{C_{\text{к}}}{C \cdot S_{\text{фк}}} \right). \quad (2)$$

Из (2) видно, что даже если концентратор несколько дороже фотопреобразователя, стоящего в этой установке, стоимость одного ватта энергии на установке с концентратором меньше, чем в установке без концентратора (причем в обоих случаях падающие энергии одинаковы). Однако если мощности, отбираемые с установок без концентратора и с концентратором, одинаковы, то соотношение стоимостей одного Ватта имеет иной вид, чем приведено в выражении (1). На этом, однако, мы здесь не будем останавливаться.

В конце авторы выражают свою благодарность Р. М. Мартиросяну за предоставление плоских концентраторов.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՄԱՀ ԳԱ բնական և արհեստական լույսի ֆիզիկայի ինստիտուտի Գ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆԻ, Ս. Ա. ԹԱՌՈՒՄՅԱՆ

Արեգակնային էներգիայի փոխակերպումը էլեկտրականի
հոլոգրաֆիական խտացուցիչների օգտագործմամբ

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է հոլոգրաֆիական սպայականների հատկությունները և սիլիցիումային ֆոտոփոխակերպիչների պարամետրերի փոփոխությունները խտացված ճառագայթների ազդեցության տակ: Ցույց է տրված, որ ընկնող լուսային հոսքի միայն 20% է թեքվում դեպի սպայակի օպտիկական առանցքը՝ այդ առանցքի երկարությամբ տրոհվելով մի քանի սպեկտրալ խմբերի: Հետադրույթված ֆոտոփոխակերպիչների առավելագույն օգտակար գործողության գործակիցը սպեկտրի կարմիր տիրույթում հավասար էր 9,2%:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Ю. А. Абрамян, Г. М. Авакьянц, А. А. Аракелян и др., Изв. АН АрмССР. Физика, т. 15, вып. 2 (1980). ² Ю. А. Аношин, Н. М. Бардина, А. К. Зайцева, Гелиотехника, № 1, 1983.

УДК 595.429.2

АКАРОЛОГИЯ

В. Г. Шевченко, А. Р. Погосова

**Новый подрод и вид открытоживущего четырехногого клеща
(Acariformes, Tetrapodili)**

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР С. О. Мовсисяном 28/III 1984)

Клещ, которому посвящена настоящая статья, обнаружен на растениях трех различных родов (*Ulmus*, *Quercus*, *Salix*). По-видимому, это еще один из немногочисленных пока полифагов среди *Tetrapodili*, что само по себе представляет известный интерес.

Морфологически это равнокольчатая форма, несомненно относящаяся к роду *Rhinophytoptus* (сем. *Rhyncaphytoptidae*). Равнокольчатых клещей, подобных обнаруженному, А. Т. Багдасарян ⁽¹⁾ предложил относить к особой трибе *Criotacini* Bagdasarian, 1975, в которую он включил роды: *Reckella* Bagd., 1975, *Criotacus* K., 1963, *Channabasavannella* Bagd., 1975. Таким образом, триба состоит из весьма различных представителей подотряда, которые резко различаются по габитусу и длине рострума (первый и второй роды имеют рострум обычной длины, третий—очень длинный—50 мкм). Соответственно к *Criotacini*, если принять за «ведущий» такой признак, как равнокольчатость, должны быть отнесены и клещи рода *Rhinophytoptus*, обоснованно включенного в сем. *Rhyncaphytoptidae* ⁽²⁾. Для перевода рода *Rhinophytoptus* в сем. *Phyllocoptidae* нет никаких оснований. Поэтому мы полагаем, что триба *Criotacini* — искусственное объединение. Род *Channabasavannella* в связи с наличием у его представителя длинного тумбовидного (не заостренного, как у *Rhyncaphytoptidae*) рострума должен быть, по нашему убеждению, сближен не с родом *Criotacus*, а, как справедливо полагает Чаннабасаванна ⁽³⁾, с родами *Calacarus* — *Neocalacarus* — *Paracalacarus*. Этому объединению родов можно было бы присвоить название трибы *Calacarini*. Однако такая акция породила бы новые проблемы: в одном таксоне оказались бы формы без щетинок на дорсальном щитке (pp. *Calacarus* и *Paracalacarus*) и с таковыми (*Neocalacarus*, *Channabasavannella* = *Keiferana*), а кроме того формы равно- и разнокольчатые. Выход здесь может быть только один—вновь вернуться к практике создания подродов ⁽²⁾. Вообще необходимость выделения подродов, причем большого их числа, в группе *Tetrapodili* самоочевидна, ибо значительное количество родов, созданных Кифером и другими авторами ^(4,5), крайне неравноценно по степени их различия. Часто это действительно хорошие роды, основанные на комплексе характеристик, а иногда лишь

подроды, отличающиеся второстепенными деталями (например, направлением дорсальных щетинок, положением бугорков этих щетинок на щитке и т. д.).

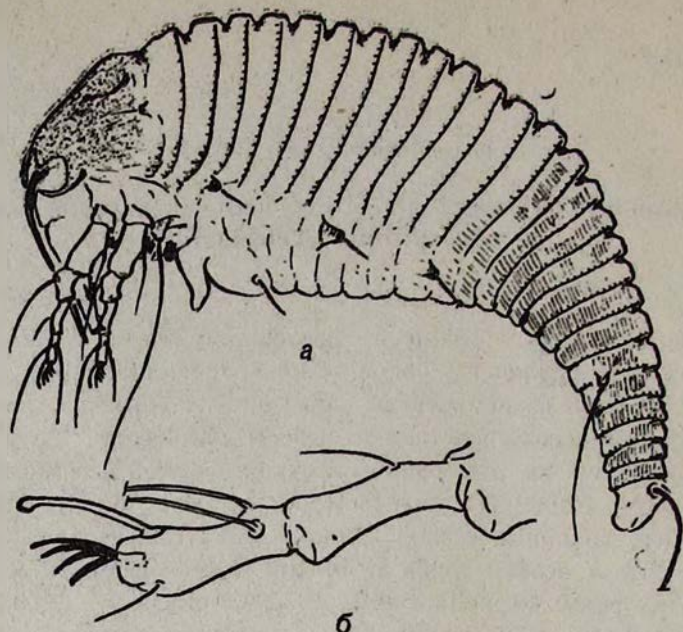


Рис. 1. *Rhinophytoptus (Macrotuberculacus) bagdasarjani* Shevtchenko et Pogosova sp. n. а—самка (вид сбоку); б—конечные членики ног I

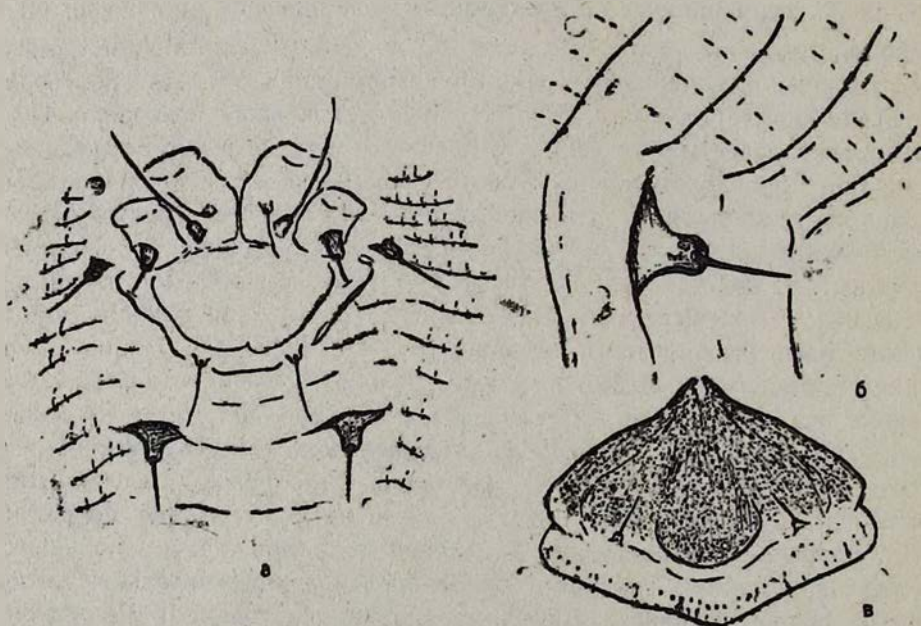


Рис. 2. *Rhinophytoptus (Macrotuberculacus) bagdasarjani* Shevtchenko et Pogosova sp. n. а—коксо-стернальный скелет и эпигиний; б—скульптура полуколец в месте расположения первых вентральных щетинок; в—дорсальный щиток

Ограничимся здесь приведенными общими соображениями и перейдем к рассмотрению нового вида, который относится к новому подроду.

Rhinophytoptus (Macrotuberculacus) bagdasarjani. Shevtchenko et Pogosova subgen. n. et sp. n. (рис. 1,2). Главной отличительной особенностью нового подрода является наличие экстраординарно крупных щетинконосных бугорков на опистосоме (особенно выделяются бугорки вторых вентральных щетинок, длина их почти равна ширине полукольца). По остальным признакам это типичный представитель рода *Rhinophytoptus*.

Самка. Тело веретеновидно-коническое, длиной 235 (200—270) (здесь и далее все размеры в микрометрах), шириной 110 (100—120). Длина рострума 51 (50—52), дорсального щитка 49 (48—50). Рисунок щитка из заметной подковообразной линии у заднего края щитка и неясных продольных линий. Расстояние между s. d. 45,5 (45—46), длина s. d. 9 (8—10), они расположены у заднего края щитка и направлены вперед. Длина ног I 47 (44—50), их голени 11 (10—12), лапки 11 (10—12), коготка 9, эмподий 4-лучевой. Длина ног II 44,5 (43—46), их голени 8,5 (—9), лапки 10,5 (10—11), коготка 10. Опистосома с микробугорками в виде линий, неясных в передней части тела и лежащих только на спинной стороне и четко выраженных и на спинной и на брюшной сторонах—в задней (после s. v.). Спинных полуколец 26 (25—28), самые широкие из них 11 (10—12), самые узкие 5,5 (5—6). S. I. на 3 полукольце от начала окольцовки, длиной 10,5 (10—11), s. v. I на 8 полукольце, длиной 8,5 (8—9), s. v. II на 12—13 полукольце, длиной 10 (9—11), s. v. III на 21—22 полукольце, длиной 35 (34—36), от s. v. III до конца кольчатости 5 колец. S. caud. 76 (75—77), s. acc. 3,5. Бугорки, несущие s. L., s. v. I, U, III крупные. Длина бугорков, на которых сидят s. v. I, 8 (7—9). Ширина эпигиния 51 (50—52), длина 27 (24—30), без рисунка на поверхности. Длина s. g. 12 (10—13), расстояние между ними 23 (21—25).

Растения-хозяева: *Ulmus* sp., *Quercus macranthera* Fisch. et Mey. *Salix caprea* L.

Отношение к растению-хозяину: обитает открыто на нижней поверхности листьев.

Голотип в препарате № 1147 (Армянская ССР. Разданский р-н, Арзакан, 6/X 1969, А. Т. Багдасарян), паратипы там же. Вид собран также в Иджеванском районе (Тиссовая роща, 9/VII 1980, препарат № 342 и 360, А. Р. Погосова). Голотип и паратипы в коллекции лаборатории фитоакарологии Биологического научно-исследовательского института Ленинградского университета. Остальные препараты—в коллекции лаборатории акарологии Института зоологии АН Армянской ССР.

Близок к *Rhinophytoptus dudichi* Farkas, от которого отличается прежде всего формой и рисунком дорсального щитка. У *Rh. dudichi* щиток продолговато-треугольный, у нового вида широкий, почти ромбический. У *Rh. dudichi* адмедианные линии образуют на дорсальном

щитке четкую кеглевидную фигуру и щиток не несет гранул, у нового вида продольные (адмедиальные и субмедиальные) линии образуют неясный рисунок, а вся поверхность щитка гранулирована.

Биологический институт
Ленинградского государственного
университета
Институт зоологии
Академии наук Армянской ССР

Վ. Գ. ՇԵՎՋԵՆԿՈ, Ա. Հ. ՊՈՂՈՍՏՈՎԱ

Ազատ ապրող քառոտ սզի նոր ենթաեռակ և տեսակ
(Acariformes, Tetrapodilli)

Crotacini Bagdasarjan տրիբան կրում է հավաքական բնույթ և ենթա-
կա է պարզաբանման: Հոգվածում տրվում է ազատ ապրող քառոտ սզի
Rhizophytoptus (Macrotuberculacus) bagdasarjani Shev. et Pog. նկարա-
գրութունը, որը հավաքված է Ulmus sp., Quercus macranthera, Salix
caprea վայրից: Նկարագրված է Macrotuberculacus subgen. n. նոր ենթա-
տեսակ:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ A. T. Багдасарян, ДАН АрмССР, т. 60, № 5 (1975). ² Liro ja Rolvainen, Suom. Eläim. Fenn., v. 6, 1—281 (1951). ³ G. P. Channabasavanna, Univ. Agric. Sci., Hebhal, Bangalore, 1—153 (1966). ⁴ L. R. Jeppson, H. H. Kelfer, E. Baker, Univ. Calif. Press, Bereley, Los Angeles, London, 1—614 (1975). ⁵ R. Davis, H. W. Carlos, J. Flechtmann e. a., Catalogue of Eriophyid Mites (Acar: Eriophyoidea), 1—154 (1982)

УДК 616.98 : 518.835. 26

ФИЗИОЛОГИЯ

Р. А. Захарян, Ж. И. Акопян, А. С. Агабян, А. А. Чарчоглян

О влиянии препарата Са-НК на вирусную инфекцию у поросят

(Представлено академиком АН Армянской ССР В. О. Казаряном 24/V 1984)

Одной из главных проблем профилактики и лечения ряда вирусных заболеваний—бешенства, клещевого энцефалита, венецуэльского энцефалита лошадей и др. является наличие массовых заболеваний среди профилактически вакцинированных сельскохозяйственных животных, что объясняется прежде всего слабой иммуногенностью или неспецифичностью используемых вакцин и формированием у животных недостаточного вакцинального иммунитета. В ряде работ были продемонстрированы иммуномодулирующие функции экзогенных нуклеиновых кислот (НК), препарата нуклеината натрия (НН), двуспиральной РНК. В результате был выявлен изоиммунноадьювантный эффект в стимулировании иммунного ответа, процессов антителообразования и в создании достаточно активного иммунитета (¹⁻⁶).

Представляет значительный интерес использование адьювантных свойств некоторых типов экзогенных нуклеиновых кислот в целях профилактической защиты животных от вирусной инфекции при сочетании их с вакцинами слабой иммуногенности и для повышения неспецифической резистентности организма животных в целях их защиты от вирусной инфекции в очаге развивающейся вирусной инфекции. Для решения этой задачи нами применялся препарат Са-НК, полученный по методу Грахам и Ван дер Эба (⁷). Эксперименты проводили на 40 поросятах десятидневного возраста весом 3 кг, которых разделили на четыре группы. I группа—контрольная (условно здоровая), II получала одну инъекцию препарата Са-НК, во III получала только вакцину, IV—Са-НК с вакциной. Вакцинирование проводили противовирусной вакциной согласно инструкции. Оценивали выживаемость поросят, прирост в весе в контрольной группе здоровых поросят.

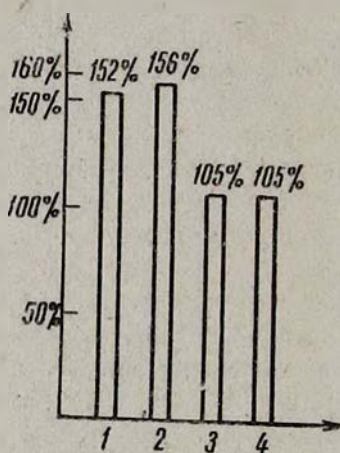
Как видно из таблицы, однократное введение препарата Са-НК, как в отдельности, так и в сочетании с вакциной, предохраняет поросят от заболевания. Применение только одной вакцины, напротив, резко повышает смертность заболевших животных, что, по-видимому, связано с относительно высокой реактогенностью вакцины, а также временно ослабленной неспецифической резистентностью вакцинированного организма, повышающей восприимчивость животных к инфекции. Применение препарата Са-НК отдельно или в сочетании с вак-

иппной обеспечивает более высокий процент защиты животных от инфекции и одновременно повышает прирост их веса.

Влияние препарата Са-НК на степень выживания и прирост в весе

Группа животных	Число погибших животных %	Прирост в весе, %
I—условно здоровые, контроль	30	10
II—получавшие Са-НК	10	231
III—получавшие вакцину	75	—
IV—получавшие Са-НК с вакциной	9	206

В следующей серии экспериментов было изучено влияние препарата Са-НК на прирост в весе у здоровых животных с постинфекционными осложнениями (рисунок). Как видим, препарат Са-НК не оказывает стимулирующего влияния на прирост в весе как у здоровых, так и у переболевших и выздоровевших животных с замедленным приростом в весе. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использованный препарат Са-НК повышает неспецифическую резистентность организма поросят к вирусной инфекции и тем самым обеспечивает у животных более высокий прирост в весе по сравнению с контрольными. Таким образом, полученные результаты позволяют рекомендовать препарат Са-НК в качестве эффективного средства защиты поросят от заболевания.



Изменения в весе переболевших поросят. По оси ординат—прирост в весе за 15 дней в процентах; по оси абсцисс—группы животных

Как в медицинской, так и в ветеринарной практике большой интерес вызывают исследования по выявлению эффектов определенных типов нуклеиновых кислот в качестве иммуномодуляторов, стимуляторов антибактериальной, антивирусной невосприимчивости, иммунного ответа и иммуногенеза (1^{-6}), хотя и механизм действия этих нуклеино-

вых кислот окончательно не выяснен. В составе некоторых из них обнаружены двуспиральные формы РНК⁽⁸⁾, известные индукторы интерферона⁽⁹⁾, который выступает в качестве как ингибитора, так и стимулятора формирования иммунного ответа, в то же время в ряде случаев двуспиральная РНК явно проявляет стимулирующий иммунный эффект⁽¹⁰⁾. Мы допускаем, что в зависимости от типа нуклеиновой кислоты, характера использованной двуспиральной РНК и реактивности макроорганизма в одних случаях может превалировать свойство НК индуцировать синтез интерферона, в других же—стимулирующий иммунный ответ, неспецифическую резистентность организма.

Аналогичный эффект (защита порослят от вирусной инфекции) получен нами от применения дельта-эндотоксина *Bac. thuringiensis*. Предполагается идентичный Са-НК механизм защитного воздействия.

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Армянской ССР
Институт ботаники
Академии наук Армянской ССР

Բ. Ա. ԶԱԲԱՐՅԱՆ, Ժ. Ի. ՀԱՎՈՐՅԱՆ, Ա. Ս. ՍՂԱԲԱՆՅԱՆ, Ա. Ա. ԶԱՐԶՈՂՅԱՆ

ԽՈՆԵԿՐԵՆԵՐԻ ՎԻՐՈՒՍԱՅԻՆ ԱԽՏԱՆԱՐՄԱՆ ՂԵՎԲՈՒՄ ՇԱ-ՆԹ ԿԱՏՐԱՍՏՈՒԼԻ ԿՈՂԵՑՈՒՄԻ ՄԱՍԻՆ

Ուսումնասիրված է որոշակի տիպի ռիբոնուկլեինաթթուների Շա-ական կոմպլեքսի (Շա-նԹ) ունակությունը՝ բարձրացնել խոճկորների օրգանիզմի ոչ սպեցիֆիկ դիմադրողականությունը վիրուսային հիվանդության ժամանակ: Շա-նԹ-ի կատրաստուկի միանվագ ներարկումը ինչպես վակցինայի հետ, այնպես էլ առանց նրա, ասպահովվում է խոճկորների վարակումից զերծ պահելու բարձր տոկոս, ինչպես նաև կանխարգելում է նրանց քաշի անկումը հիվանդության օղակում:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Դ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- ¹ А. М., Белоус, В. П. Годик, Е. Я. Панков в кн.: Экзогенные нуклеиновые кислоты и восстановительные процессы» Медицина, М., № 1974. ² А. М. Земсков, В. М. Земсков, А. В. Петров и др., Иммунология, т. I, 75—79 (1981). ³ А. М. Земсков, В. М. Земсков, В. Г. Передерий, ЖМЭИ, т. 9, 9—13 (1982). ⁴ А. М. Земсков, В. М. Земсков, В. Г. Передерий и др., Антибиотики, т. 9, 64 (1982). ⁵ А. Н. Фомина, С. С., Григорян, О. В. Зайцева и др., Антибиотики, т. 25, 28 (1980). ⁶ В. Д. Соловьев, Т. А. Бектемиров, в кн.: Интерфероны в теории и практике медицины, Медицина, № 1981.
- ⁷ F. L. Graham, P. J. Abrahams, C. Mulder, Cold Spring Harbor Symp. Quant Biol., v. 39, 637, 1975. ⁸ А. С. Агабян, А. С. Сафурян, А. Ф. Казинян и др., ДАН АрмССР, т. 77, № 5 (1983). ⁹ M. Libonati, A. Carsana, A. Furia, Mol. Cellular Biochem., v. 31, 147 (1980). ¹⁰ H. M. Johnson, Texas Reports of Biology and Medicine, v. 41, 411 (1982).

УДК 612.8.52—50

ФИЗИОЛОГИЯ

Д. С. Мелконян, О. А. Мкртчян

К анализу синаптических процессов
на основе квантовых постулатов

(Представлено академиком АН Армянской ССР В. В. Фанарджяном 6/VII 1984)

В основе квантовой теории синаптических процессов лежит допущение о том, что запас доступного передатчика содержится в пресинаптическом окончании в виде некоторого числа n дискретных порций равного объема—квантов, каждый из которых с некоторой вероятностью p может быть высвобожден в синаптическую щель под действием пресинаптического импульса (¹). При исследовании статистических закономерностей выделения передатчика параметры n и p обычно принимаются постоянными. В условиях ритмической стимуляции это приводит к расхождению с экспериментом в силу по крайней мере двух факторов: 1) усиленное высвобождение передатчика истощает его запасы; 2) пресинаптическая стимуляция оказывает мобилизующее действие на кванты передатчика, перемещая их на стратегически выгодные для высвобождения позиции.

Для уточнения теории предложены поправки, учитывающие изменение объема передатчика или вероятности высвобождения (²⁻⁴).

В настоящей работе для согласования теории с экспериментом предлагается следующая модификация исходных постулатов квантовой теории.

1. Запас из n квантов доступного передатчика распределен по оперативной (расходной, n_R квантов) и мобилизационной (n_M квантов) фракциям.

2. Пресинаптический импульс приводит к перераспределению квантов передатчика в соответствии со следующими постулатами.

Постулат высвобождения. Квант, находящийся в оперативной фракции, может быть высвобожден в синаптическую щель с вероятностью p_R .

Постулат мобилизации. Квант, находящийся в мобилизационной фракции, может быть перенесен в оперативную фракцию с вероятностью p_M .

Для анализа синаптических процессов на основе представленных постулатов и сравнения теоретических данных с экспериментальными введем усредненные показатели, характеризуя запас доступного передатчика не числом квантов, а объемом V , рассматриваемым как непрерывная величина. При таком подходе принятые допущения формулируются следующим образом.

1. Общий запас

$$V = R + M, \quad (1)$$

где R и M — оперативный и соответственно мобилизационный запасы.

2. Пресинаптический импульс, поступающий в момент $t = t_i$, вызывает следующие импульсные процессы транспорта передатчика:

а) высвобождение из оперативной фракции в синаптическую щель порции передатчика

$$r_i = p_R \cdot R(t_i^-); \quad (2)$$

б) перенос из мобилизационной фракции в оперативную порции передатчика

$$m_i = p_M \cdot M(t_i^-). \quad (3)$$

Дополнительно введем следующие допущения.

3. В отсутствие пресинаптической стимуляции запасы передатчика стремятся к установившимся значениям V_0 , R_0 , M .

4. Длительность пресинаптического импульса мала по сравнению с постоянными времени транспорта передатчика, так что в математической идеализации последовательность N пресинаптических импульсов

$$x(t) = \sum_{i=1}^N \delta(t - t_i), \quad (4)$$

где $\delta(t)$ — единичный импульс, t_i — момент поступления i -го импульса.

5. Импульсные процессы f_R и f_M выброса и соответственно мобилизации передатчика соизмеримы по времени протекания с длительностью пресинаптического импульса:

$$f_R(t) = \sum_{i=1}^N r_i \cdot \delta(t - t_i), \quad (5)$$

$$f_M(t) = \sum_{i=1}^N m_i \cdot \delta(t - t_i). \quad (6)$$

6. Изменения W_R и W_M общего и соответственно мобилизационного запасов описываются уравнениями транспорта передатчика

$$\frac{dW_R}{dt} + \frac{1}{T_V} W_R = f_R, \quad (7)$$

$$\frac{dW_M}{dt} + \frac{1}{T_M} W_M = f_M, \quad (8)$$

где T_V и T_M — постоянные времени восполнения и демобилизации.

Пусть синапс, находившийся к моменту $t = t_1$ в установившемся состоянии, стимулируется последовательностью импульсов (4). Согласно принятым допущением, при $t \geq t_1$

$$V = V_0 - W_R, \quad R = R_0 - W_R + W_M. \quad (9)$$

Функции W_R и W_M представляют решения уравнений (7) и (8) при нулевых начальных условиях

$$W_K(t) = \sum_{i=1}^N r_i \cdot \exp[-(t-t_i)/T_V], \quad (10)$$

$$W_M(t) = \sum_{i=1}^N m_i \cdot \exp[-(t-t_i)/T_M]. \quad (11)$$

Система регуляции транспорта передатчика, согласно принятым допущениям, иллюстрируется блок-схемой рис. 1, составленной и ти-

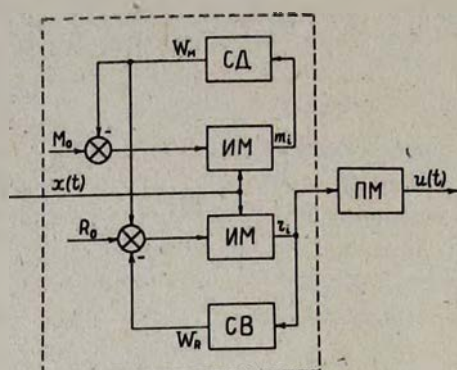


Рис. 1. Блок-схема модели

повых элементов систем автоматического управления. Звенья ИМ представляют импульсные модуляторы, для которых несущей является входная функция $x(t)$. Системам восполнения и демобилизации (СВ и СД), описываемым уравнениями (7) и (8), соответствуют аperiodические звенья. Блок ПМ представляет постсинаптическую мембрану, выход которой—постсинаптический потенциал (ПСП) служит обычно показателем эффективности синаптической передачи. Поскольку обычно обеспечиваются условия линейной суммации ПСП, звено ПМ рассматривается как линейная стационарная система. Пусть h — импульсная переходная функция ПМ. Тогда ПСП

$$u(t) = \sum_{i=1}^N r_i \cdot h(t-t_i). \quad (11)$$

Параметрами модели являются значения R_0 , p_R , p_M , T_V , T_M , а также некоторая аналитически задаваемая функция $\bar{h}(t)$, являющаяся аппроксимирующим выражением для ПСП. Принимается $V_0 = 1$ (отн. ед.).

Численное моделирование поведения модели осуществляется путем последовательного расчета значений r_i и m_i ($i=1, \dots, N$) с помощью следующего рекуррентного алгоритма.

Пусть известны значения $V(t_k^-)$ и $R(t_k^-)$. Согласно (2) и (3) определяются r_k и m_k . Их подстановка в (5), (6), (9)–(11) позволяет рассчитать изменения запасов на интервале $(t_k; t_{k+1})$, а следовательно и значения $V(t_{k+1}^-)$ и $R(t_{k+1}^-)$.

Для проверки адекватности предложенной модели экспериментально исследованным закономерностям изменения эффективности си-

наптической передачи проведены серии машинных имитационных экспериментов, выявляющих поведение модели при различных условиях пресинаптической стимуляции.

На рис. 2 представлены результаты моделирования, имитирующие суммарный ПСП и характер изменения параметров синапса в процессе ритмической стимуляции. Представленные результаты характеризуют известные феномены синаптической передачи, а именно: процессы

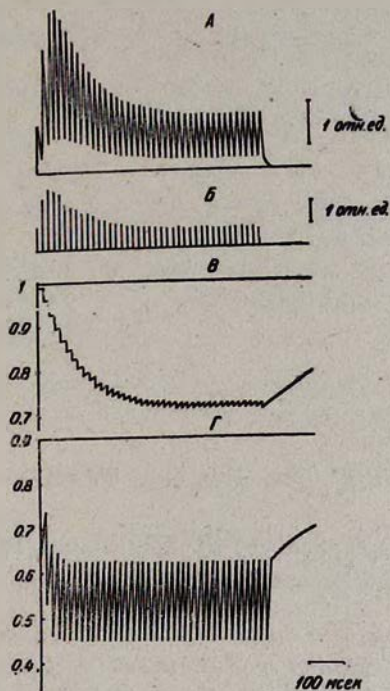


Рис. 2. Переходные синаптические процессы в период ритмической стимуляции (с частотой 50 имп/сек) и после ее снятия. А—кривая суммарного ПСП; Б—порции высвобожденного передатчика в моменты времени t_i ; В—динамика изменения общего запаса передатчика; Г—динамика изменения мобилизационного запаса. Параметры моделирования: $R_0=0,1$; $p_R=0,12$; $p_M=0,29$; $T_M=39$; $T_V=520$

облегчения и депрессии, достижение амплитудами ПСП некоторого установившегося состояния в процессе ритмической стимуляции. Кроме того, показана динамика изменения общего и мобилизационного запасов передатчика в период ритмической стимуляции, которую практически невозможно получить в электрофизиологическом эксперименте.

Амплитуды установившихся состояний ПСП для различных частот отложены в виде ординат на рис. 3, который иллюстрирует так называемую частотную зависимость синаптической передачи, описывающую

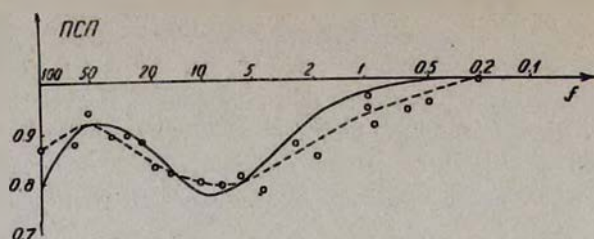


Рис. 3. Частотная зависимость синаптической передачи. Кружки и пунктирная кривая—экспериментальные данные Кертиса и Экклса (⁵); сплошная кривая—результаты машинных экспериментов. Параметры моделирования те же, что и для рис. 2

шую характер синаптической передачи в широком диапазоне частот.

Близкое совпадение расчетных кривых с экспериментальными в широком диапазоне частот стимуляции позволяет рассматривать параметры модели как параметры пресинаптических окончаний, имитировавшихся в машинных экспериментах.

Институт физиологии
Академии наук Армянской ССР

Դ. Ս. ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ, Հ. Հ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

Սինապտիկ պրոցեսների վերլուծությունը ֆվանտային կանխադրույթների հիման վրա

Քվանտային տեսության սկզբնական կանխադրույթների հիման վրա առաջարկված է սինապտիկ հաղորդման մաթեմատիկական մոդել:

Կատարված են մեքենայական փորձեր ի հայտ բերելու մոդելի վարքը նախասինապտիկ գրգռման տարբեր պայմաններում: Մեքենայական փորձերի տվյալները ցույց են տալիս, որ հաշվարժային և փորձարարական սինապսի հաճախականական բնութագրերը համընկնում են բավարար կերպով:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ J. del Castillo, B. Katz, J. Physiol., v. 124, 560—573 (1954). ² H. Hatt, D. O. Smith, J. Physiol., v. 259, 395—404 (1976). ³ A. Wernig, J. Physiol., v. 244, 207—221 (1975). ⁴ R. S. Zucker, J. Physiol., v. 229, 787—810 (1973). ⁵ J. C. Curtis, J. Eccles, J. Physiol., v. 150, 374—398 (1960).