

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ  
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ  
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ  
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

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

Կ Մ Ր Ո Ն Ր Ե Կ Վ Ե Կ Ո Ղ Ի Ն Ի Կ

Կասյան Մ. Վ. (պատ. խմբագրի), Աղանց Հ. Ց. (պատ. խմբագրի տեղակալ),  
Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Զաղոյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ն.,  
Սարգսյան Յու. Լ., Ստակյան Մ. Ֆ., Տեր-Ազարի Ի. Ա.,  
Փինաճյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),  
Փոստ-խմբագրության ղեկավար Ստեփանյան Յ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Авоиц Г. Т. (зам. ответ. редактора),  
Алексеевский В. В., Аюбян Р. Е., Задоян М. А.,  
Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян Ю. Յ.,  
Стакян М. Г., Тер-Азарова И. А.  
Ответственный секретарь Степанян Э. К.

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, Б. С. ГУКАСЯН, С. С. АВДАЛЯН,  
Г. С. АВДАЛЯН, Э. А. ТОМКЦЯНК ВОПРОСУ ОБ ИМПУЛЬСНЫХ ЯВЛЕНИЯХ  
ПРИ ЗУБОДОЛБЛЕНИИ

Проблема исследования мгновенных значений переменной динамической силы резания при зубодолблении до настоящего времени в полной мере не решена. Особенно это относится к исследованию импульсных явлений при врезании зуборезного долбяка в каждом рабочем ходу. Измерение импульсных нагрузок представляет собой сложную техническую задачу, поскольку к датчикам и измерительной аппаратуре предъявляются жесткие требования по частотным характеристикам [1]. Кроме этого, в существующих исследованиях [1—4] отсутствует физическая взаимосвязь между кинематическим и динамическим состояниями системы СПИД при врезании зуборезного долбяка в обрабатываемый материал. Наличие импульсного явления при срезании воедино связано с резким падением скорости резания. Во время обработки зуборезный инструмент и жестко связанные с ним узлы станка движутся относительно неподвижной заготовки. Тогда переходные процессы при врезании можно рассматривать аналогично с ударом о жестко закрепленную плиту [4].

Поскольку плита (заготовка) обычно жестко закреплена к фундаменту установки, то ее можно с определенным допущением рассматривать как тело, обладающее бесконечно большой массой  $M$ . Следовательно, приведенная масса соударяющихся тел будет равна массе удаляющегося тела:

$$\lim_{M \rightarrow \infty} \frac{Mm}{M+m} = m; \quad (1)$$

где  $m$  — приведенная масса всех подвижных частей станка.

При описании процесса врезания зуборезного долбяка принимается ряд упрощающих допущений:

1) в момент первоначального контакта сила резания  $P$ , мгновенно достигает величины, соответствующей значению при установившемся резании;

2) узел станка с закрепленной на нем заготовкой обладает весьма большой массой  $M$  и поэтому его скорость не изменяется при врезании;

3) приведенная масса  $m_2$  всех подвижных частей станка перемещается со скоростью  $V_2$ ;

4) главный двигатель обладает настолько большой мощностью, что не снижает обороты под нагрузкой в момент врезания зуборезного долбяка в заготовку. Действие такого двигателя может быть представлено бесконечной массой  $M$ , перемещающейся со скоростью  $V_{11}$ .

На рис. 1 показана модель системы СПИД зубодолбежного станка, где обозначены:  $F_2$  — суммарная упругих сил, действующая на массу  $m_2$ ;  $R_2$  — суммарная диссипативных сил, действующая на массу в направлении, противоположном перемещению массы  $m_2$  относительно  $M$ ;  $C_2$  — приведенная жесткость системы;  $H_2$  — коэффициент диссипативных сил.

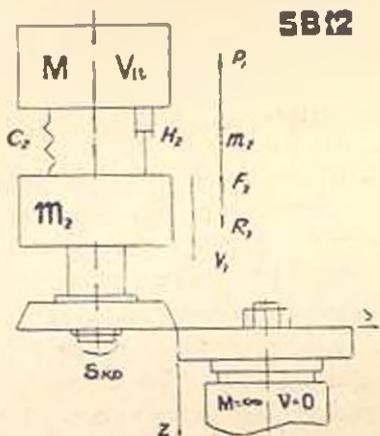


Рис. 1. Модель системы СПИД.

Для принятой модели СПИД можно написать уравнение

$$m_2 Z + H_2 Z + C_2 Z = P_2(t). \quad (2)$$

Обозначив  $\frac{H_2}{m_2} = 2n$  и  $\frac{C_2}{m_2} = k^2$ , приведем уравнение (2) к виду

$$Z + 2nZ + k^2 Z = \frac{1}{m_2} P_2(t). \quad (3)$$

Подставляя значения функции  $P_2(t) = P_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{P_1}}}\right)$  при врезании зуборезного долбяка [6], уравнение (3) запишется в виде:

$$Z + 2nZ + k^2 Z = \frac{1}{m_2} P_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{P_1}}}\right). \quad (4)$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения определяется при помощи характеристического уравнения, которое имеет корни  $\lambda_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - k^2}$ .

В зависимости от величины  $(n^2 - k^2)$  могут иметь место три случая кинематического состояния модели системы СПИД: при  $n^2 - k^2 < 0$  или  $\sqrt{n^2 - k^2} = k_1 i$  получим

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \cos k_1 t - \frac{n}{k_1} \sin k_1 t \right); \quad (5)$$

при  $n^2 - k^2 = 0$  или  $\sqrt{n^2 - k^2} = k_2$  —

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \operatorname{ch} k_2 t - \frac{n}{k_2} \operatorname{sh} k_2 t \right); \quad (6)$$

при  $n^2 - k^2 = 0$  или  $n = k$  —

$$\bar{V}_2 = V_1 e^{-nt} (1 - kt). \quad (7)$$

Частное решение уравнения (4) будет:

$$V_2^* = \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}. \quad (8)$$

Тогда общее решение уравнения (4) получаем в виде

$$V_2 = \bar{V}_2 + V_2^* = \bar{V} + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}. \quad (9)$$

Случай 1:

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \cos k_1 t - \frac{n}{k_1} \sin k_1 t \right) + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}; \quad (10)$$

случай 2:

$$V_2 = V_1 e^{-nt} \left( \operatorname{ch} k_2 t - \frac{n}{k_2} \operatorname{sh} k_2 t \right) + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}; \quad (11)$$

случай 3:

$$V_2 = V_1 e^{-nt} (1 - kt) + \frac{P_0 T_{p1} e^{-\frac{t}{T_{p1}}}}{m_2 (1 - 2nT_{p1} + k^2 T_{p1})}. \quad (12)$$

На рис. 2 приведен график изменения скорости резания, откуда видно, что в момент врезания характерно интенсивное падение скорости резания  $V_2(t)$ . При теоретическом описании кинематического и динамического состояний системы СПИД принимали, что в момент врезания сила резания монотонно возрастает до значения  $P_0$ , соответствующего ее величине при установившемся непрерывном резании. Однако известно, что один и тот же металл при одинаковой температуре оказывает различное сопротивление воздействию внешних сил в зависимости от скорости этого воздействия [7]. В этом случае динамическая силовая характеристика металла от скорости деформации  $V_2$  выражается в виде равенства

$$P_{\text{дин}} = P_{\text{ст}}(Z) \left[ 1 + \left( \frac{\dot{Z}}{V_2} \right)^{b_2} \right], \quad (13)$$

где  $P_{\text{ст}}(Z)$  — соответствует установившемуся значению  $P_0$ ;  $V_2$  и  $b_2$  — константы, зависящие от материала [7].

Из формулы (13) получим

$$\Delta P = \left( \frac{\dot{Z}}{V_0} \right)^{0.5} P_0; \quad (14)$$

где  $\Delta P = (P_{\max} - P_0)$  — величина подскока силы резания при врезании долбяка;  $\dot{Z}(\cdot)$  — текущая скорость деформации или скорость резания, определяемая выражениями (9) — (11).

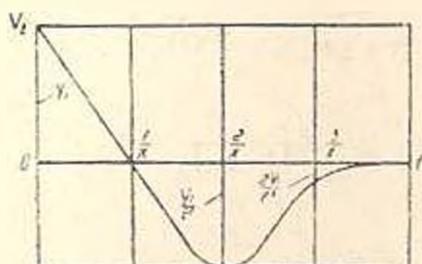


Рис. 2. Расчетная зависимость изменения скорости резания от времени врезания в обрабатываемый материал.

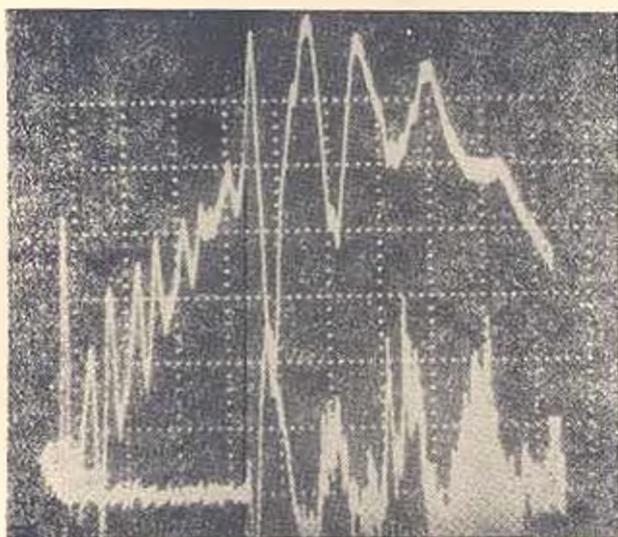


Рис. 3. Осциллограмма изменения силы (1) и скорости (2) врезания зуборезного долбяка в обрабатываемый материал:

$t = 2 \text{ мм}$ ;  $Z = 38$ ;  $S_{\text{пр}} = 0,12 \text{ мм/дв.х.}$ ;  $n = 200 \text{ дв.х./мин}$ ;  
сталь 45, 1 дел. = 10 мс.

Полученные математические выражения дают информацию об экстремальном характере изменения силы и скорости резания при врезании зуборезного долбяка в обрабатываемую деталь. Отсюда следует, что при первоначальном контакте инструмента с деталью имеет место процесс, очень схожий с импульсным. С целью проверки полученных

функциональных зависимостей и подтверждения приемлемости сделанных при анализе системы СПИД допущений было произведено экспериментальное исследование процесса резания при зубодолблении с помощью специально разработанной измерительной аппаратуры [8]. На рис. 3 приведена осциллограмма изменения силы и скорости при врезании зуборезного долбяка. Нетрудно заметить, что изменение скорости при реальном врезании зуборезного долбяка качественно соответствует полученным теоретическим закономерностям. Существующие отклонения следует объяснить тем, что металлорежущий станок имеет ограниченную мощность двигателя, в связи с чем его обороты снижаются под нагрузкой.

Երևանի Կ. Մարքս

5. III 1986

Ս. Վ. ԿԱՅՅԱՆ, Վ. Ս. ՎԵՆԿՍՅԱՆ, Ս. Ս. ԱՎԻԱԶԱՆ, Գ. Ս. ԱՎԻԱԶԱՆ, Է. Ա. ԳՈՐԿԱՅԱՆ

### ԱՏԱՄԱԽՈՐԾԱՆ ԴԵՊՐՈՒՄ ԻՆԳՐԱՎՍԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅՑՆԵՐԻ ՀԱՐՅԻ ԿԱՍԻՆ

#### Ա մ փ ո փ ո ս մ

ՀՀԴԴ համակարգի մոդելի հիման վրա գործիքի ենթակտրման դեպքի համար կազմված է ստամնաթործիչի շարժման դիֆերենցիալ հավասարում և արագութունը որոշելու համար ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ: Բերված են ուժի իմպուլսի և կտրման արագության անսահան և փորձնական հետազոտությունների արդյունքները, ինչպես նաև ուժի ու արագության փոփոխման սցիլոգրամ՝ պողպատ 45-ից պատրաստված ստամնանիվի թորման դեպքում:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Батуев Г. С. Инженерные методы исследования ударных процессов.— М.: Машиностроение, 1977.— 240 с.
2. Сейдов Б. Е. Исследование кинематических условий работы зуборезных долбяков.— Автореф. дис. канд. техн. наук.— М., 1975.— 24 с.
3. Петрухин С. С., Харламов Г. А. Влияние силы резания на точность нарезаемых колес при зубодолблении и условия ее повышения.— В кн.: Технология машиностроения. Тула, 1975 (76), вып. 40, с. 46—51.
4. Колесников В. Г. Исследование сил резания при зубодолблении, точности и чистоты поверхности профиля дуба стальных колес, нарезаемых долбяком.— Автореф. дис. канд. тех. наук.— Волгоград, 1970.— 22 с.
5. Ганченко М. Г. Экспериментальные исследования сил резания при зубодолблении колес с внешними зубьями.— В кн.: Технология машиностроения и автоматизация производственных процессов. Волгоград, 1978, с. 176—184.
6. Худяк К. С., Горняков Л. М. Точность обработки и режимы резания.— М.: Машиностроение, 1976.— 144 с.
7. Соколов Л. Д. Сопротивление металлов пластической деформации.— М.: Металлургияиздат, 1963.— 284 с.
8. Способ определения значения импульсной силы и зависимости от скорости резания / Касьян М. В., Лукасян Б. С., Авдалян Г. С. и др.— Информацион. лист. АРМИШИНТИ, 1986, сер. 55.29.33, № 5519.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

В. А. АМБАРЦУМЯН, Л. Г. ПЕТРОСЯН

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН  
 В СЛОИСТОЙ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Вопросу изучения распространения сейсмических волн в однородной и слоистой средах посвящены работы [1—4, 7]. В [3] приводится решение задачи о колебании многослойной упругой среды с постоянными для каждого слоя динамическими характеристиками. Распространение волн в неоднородной среде изучено в [5]. Для определенных законов изменения модуля сдвига и плотности получены приближенные и некоторые точные решения. В данной работе найдены новые решения этой задачи, и эти решения применены для исследования колебаний слоистой среды.

Гармонические колебания упругой неоднородной среды описываются уравнением:

$$G(x) \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{dG}{dx} \cdot \frac{dw}{dx} + \omega^2 \rho(x) w = 0, \quad (1)$$

где  $w$  — перемещение среды;  $\omega$  — круговая частота колебаний;  $G(x)$ ,  $\rho(x)$  — соответственно модуль сдвига и плотность среды.

Рассмотрим случай, когда  $G(x)$  и  $\rho(x)$  изменяются по экспоненциальному закону:

$$G(x) = G_0 e^{ax}; \quad \rho(x) = \rho_0 e^{bx}, \quad (2)$$

здесь  $G_0$ ,  $\rho_0$ ,  $a$ ,  $b$  — постоянные.

Подставляя (2) в (1), получаем:

$$e^{ax} G_0 \left[ \frac{d^2 w}{dx^2} + a \frac{dw}{dx} + x^2 e^{(b-a)x} w \right] = 0, \quad (3)$$

Уравнение (3) разрешается в бесселевых функциях, если  $b-a = 1$  [6]. В этом случае решение уравнения (3) представляется в виде:

а) если  $a$  целое число, то

$$w = A_1 e^{-a \frac{x}{2}} J_a \left( 2x_0 e^{\frac{x}{2}} \right) + B_1 e^{-a \frac{x}{2}} H_a \left( 2x_0 e^{\frac{x}{2}} \right); \quad (4)$$

б) если  $a$  нецелое число —

$$w = A_1 e^{-a \frac{x}{2}} J_a \left( 2\alpha_0 e^{\frac{x}{2}} \right) + B_1 e^{-a \frac{x}{2}} J_{-a} \left( 2\alpha_0 e^{\frac{x}{2}} \right), \quad (5)$$

где  $\alpha_0 = \omega^2 \frac{\rho_0}{G_0}$ ,  $A_1, B_1$  — произвольные постоянные;  $J_a(x)$ ,  $J_{-a}(x)$  — функции Бесселя 1 рода;  $H_a(x)$  — функция Ханкеля 1 рода. Если  $b - a = 1$ , уравнение (3) решается в элементарных функциях [6]: при  $4\alpha_0^2 - 1 > 0$  —

$$w = e^{-\frac{x}{2}} \left[ A_2 \cos \frac{x}{2} \sqrt{4\alpha_0^2 - 1} + B_2 \sin \frac{x}{2} \sqrt{4\alpha_0^2 - 1} \right]; \quad (6)$$

при  $1 - 4\alpha_0^2 > 0$  —

$$w = A_3 e^{\left[ -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4\alpha_0^2} \right] x} + B_3 e^{\left[ -\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4\alpha_0^2} \right] x} \quad (7)$$

Решение уравнения (1) в специальных функциях было найдено в случае переменных  $G(x)$  и  $\rho(x)$ , заданных в виде:

$$G(x) = G_0 \left( 1 + k \frac{x}{l} \right)^m; \quad \rho(x) = \rho_0 \left( 1 + k \frac{x}{l} \right)^n, \quad (8)$$

где  $G_0, \rho_0, k, l, m, n$  — постоянные.

В случае слоя конечной толщины  $l$  является толщиной слоя. Подставляя (8) и (1), получаем:

$$G_0 \left( 1 + k \frac{x}{l} \right)^m \frac{d^2 w}{dx^2} + G_0 m \frac{k}{l} \left( 1 + \frac{k}{l} x \right)^{m-1} \frac{dw}{dx} + \omega^2 \rho_0 \left( 1 + k \frac{x}{l} \right)^n w = 0. \quad (9)$$

Делая замену независимого переменного по формуле  $\left( 1 + k \frac{x}{l} \right) = z$  и преобразуя (9), получаем:

$$G_0 z^m \left[ z^2 \frac{d^2 w}{dz^2} + m z \frac{dw}{dz} + \alpha^2 z^{n-m+1} w \right] = 0; \quad \alpha^2 = \omega^2 \rho_0 \frac{l^2}{G_0 k^2}. \quad (10)$$

Решение уравнения (10) выражается в бесселевых функциях [6]: если  $\nu = \frac{1-m}{n-m+2}$  нецелое число —

$$w = \left( 1 + k \frac{x}{l} \right)^{\frac{1-m}{2}} [A_1 J_\nu(b) + B_1 J_{-\nu}(b)]; \quad (11)$$

если  $n$  — целое число —

$$\omega = \left(1 + k \frac{x}{l}\right)^{\frac{1-m}{2}} [A_1 J_m(b) + B_1 H_m(b)]; \quad (12)$$

$$b = \frac{2}{n-m+2} \left(1 + k \frac{x}{l}\right)^{\frac{n-m+1}{2}}$$

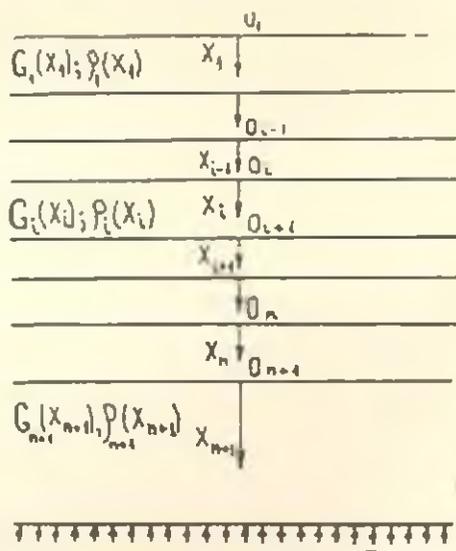


Рис. 1.

Рассмотрим колебания слоистого полупространства под воздействием горизонтальной сейсмической волны сдвига (рис. 1). Допускаем, что задано перемещение волны при подходе к границе  $n$ -го и  $n+1$ -го слоев и требуется определение перемещений в верхних слоях. Перемещение  $u_i$  в  $i$ -ом слое ищем в виде:

$$u_i(x) = A_i X_i(x) + B_i Z_i(x); \quad 0 \leq x_i \leq l_i, \quad (13)$$

где  $X_i(x)$ ,  $Z_i(x)$  — решения уравнения (10), определяемые выражениями (11) или (12);  $A_i$ ,  $B_i$  — произвольные постоянные;  $l_i$  — высота  $i$ -го слоя.

Удовлетворяя условиям неразрывности перемещений и напряжений на контакте  $i$ -го и  $i+1$ -го слоев, получаем:

$$A_{i+1} X_{i+1}(0) + B_{i+1} Z_{i+1}(0) = A_i X_i(l_i) + B_i Z_i(l_i); \quad (14)$$

$$G_{i+1}(0) [A_{i+1} X'_{i+1}(0) + B_{i+1} Z'_{i+1}(0)] = G_i(l_i) [A_i X'_i(l_i) + B_i Z'_i(l_i)],$$

где через  $G_i(l_i)$  и  $G_{i+1}(0)$  обозначены значения переменного по высоте модуля сдвига  $i$ -го и  $i+1$ -го слоев соответственно в сечениях  $x_i = l_i$  и  $x_{i+1} = 0$ . Решая уравнения (14) относительно  $A_i, B_i$ , получаем:

$$A_i = A_{i+1} a_{i+1} - B_{i+1} b_{i+1}; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (15)$$

$$B_i = A_{i+1} c_{i+1} + B_{i+1} d_{i+1},$$

$$a_{i+1} = \frac{\Delta_{2i}}{\Delta_{0i}}; \quad b_{i+1} = \frac{\Delta_{2i}}{\Delta_{0i}}; \quad c_{i+1} = \frac{\Delta_{2i}}{\Delta_{0i}}; \quad d_{i+1} = \frac{\Delta_{2i}}{\Delta_{0i}};$$

$$\Delta_{0i} = G_i(l_i) [X_i(l_i) Z'_i(l_i) - Z_i(l_i) X'_i(l_i)];$$

$$\Delta_{2i} = G_i(l_i) X_{i+1}(0) Z'_i(l_i) - G_{i+1}(0) Z_i(l_i) X'_{i+1}(0);$$

$$\Delta_{0i} = G_i(l_i) Z_{i+1}(0) Z'_i(l_i) - G_{i+1}(0) Z_i(l_i) Z'_{i+1}(0);$$

$$\Delta_{2i} = G_{i+1}(0) X_i(l_i) X'_{i+1}(0) - G_i(l_i) X_{i+1}(0) X'_i(l_i);$$

$$\Delta_{0i} = G_{i+1}(0) X_i(l_i) Z'_{i+1}(0) - G_i(l_i) Z_{i+1}(0) X'_i(l_i).$$

Кроме того, должно быть удовлетворено условие отсутствия напряжений на свободной поверхности:

$$G_1(0) [A_1 X'_1(0) + B_1 Z'_1(0)] = 0. \quad (16)$$

Задано также значение перемещения падающей волны в сечении  $x_{n+1} = 0$ :

$$G_{n+1}(0) [A_{n+1} X_{n+1}(0) + B_{n+1} Z_{n+1}(0)] = C. \quad (17)$$

Используя условия (15), (16), (17), могут быть определены все коэффициенты  $A_i, B_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n+1$ ). Для этого значения  $A_i, B_i$  (определяются из (15) при  $i = 2, 3, \dots, n$ ) подставляем в выражение  $A_i, B_i$  (определяются из (15) при  $i = i$ ) и используя (16) и (17), получаем два уравнения, из которых определяются  $A_1$  и  $A_{n+1}$ . Из (16) и (17) вычисляются  $B_1$  и  $B_{n+1}$ , а из (15) — все остальные коэффициенты, выраженные через  $C$ .

Рассмотрим колебания неоднородной среды в виде однослойного основания. Для этого случая можно воспользоваться выведенными выше формулами при  $n = 1$ . Принимаем, что в верхнем слое модуль упругости  $G$  увеличивается по глубине по линейному закону ( $m = 1$ ), а плотность  $\rho$  постоянна ( $n = 0$ ). При этом принимаем  $k = \frac{1}{2}, 2$ , что соответствует увеличению модуля сдвига в пределах верхнего слоя в 1,5 и 3 раза. Для сравнения рассматриваем также случай постоянных  $G$  и  $\rho$  ( $m = 0, n = 0$ ).

Определяем относительное перемещение  $w_1(0) / w_1(l_1)$ :

$$\frac{w_1(0)}{w_1(l_1)} = \frac{\lambda_1(0) Z'_1(0) - Z_1(0) X'_1(0)}{X_1(l_1) Z'_1(0) - Z_1(l_1) X'_1(0)}. \quad (18)$$

где  $X_1(x) = J_2 \left[ 2\alpha_1 l_1 \left( 1 + k \frac{x}{l} \right)^{1/2} \right]$ ;  $Z_1(x) = Y_0 \left[ 2\alpha_1 l_1 \left( 1 + k \frac{x}{l} \right)^{1/2} \right]$ ;

$\alpha_1 = \frac{\omega}{C_1}$ ;  $Y_0(x)$  — функция Бесселя II рода нулевого порядка;  $C_1$  — скорость распространения волны сдвига в слое при постоянном модуле упругости;  $l_1$  — высота слоя.

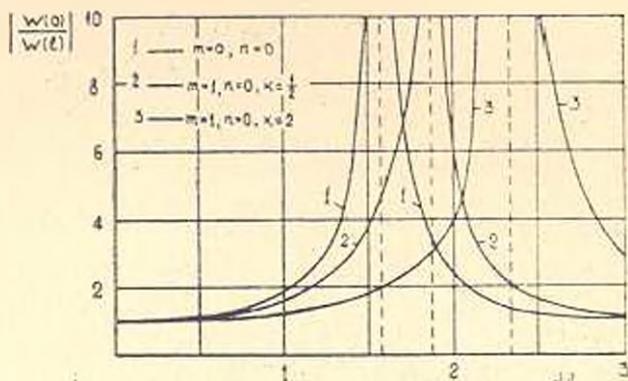


Рис. 2.

По формуле (18) вычислены и на рис. 2 построены зависимости относительного перемещения свободной поверхности слоя  $w_1(0) / w_1(l_1)$  от волнового числа  $\alpha, l_1$ . Характерным для этих кривых является существование значений  $\alpha, l_1$ , при которых имеет место явление резонанса. В случае слоя с постоянным модулем упругости:  $\alpha, l_1 = 1,57$ . При переменном модуле упругости верхний слой является более жесткой и резонансные частоты получаются равными  $\alpha, l_1 = 1,775$  и  $\alpha, l_1 = 2,36$ , т. е. больше, чем в случае слоя с постоянными характеристиками. Перемещения свободной поверхности при фиксированной частоте  $\alpha, l_1$  в слое с постоянным модулем сдвига больше, чем в слое с переменным модулем сдвига.

Վ. Ա. ՀԱՄԱՐԱԶՈՒՄՅԱՆ, Է. Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԻՐԿՐԱՇԱՐԺԱԿԱՆ ԱՎԻՔՆԵՐԻ ՏԱՐԱՄԻՐԸ ՇԵՐՏԱՎՈՐ ԱՆՀԱՄԱՍԻՔ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Դիտարկվում է սահրի հորիզոնական ալիքների տարածումը շերտավոր անհամասեռ կիսատարածությունում: Սահրի մոդուլի և խտության փոփոխությունը յուրաքանչյուր շերտի սահմաններում ընդունվում է էքսպոնենցիալ և աստիճանային ֆունկցիաների տեսքով: Խնդրի լուծումները արտահայտվում

ևն Բևսսելի ֆունկցիաների տեսքով: Բերված է հաշվման կոնկրետ օրինակ, որը ցույց է տալիս անհամասեռության ազդեցությունը մակերեսային շերտի անդամախորտությունների վրա: Խնդրի լուծումը նետաբոլորություն է ներկայացնում ինժեներական երկրաշարժաբանության համար, քանի որ այն հնարավորություն է տալիս որոշելու երկրաշարժական ազդեցության ուժգնությունը անհամասեռ միջավայրում:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Саваренский Е. Ф. Сейсмические волны.— М.: Недра, 1972.— 294 с.
2. Хачиян Э. Е., Амбарцумян В. А. Динамические модели сооружений в теории сейсмостойкости.— М.: Наука, 1981.— 204 с.
3. Окамото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений.— М.: Стройиздат, 1980.— 342 с.
4. Ньюмарк Н., Розенблюэт Э. Основы сейсмостойкого строительства.— М.: Стройиздат, 1980.— 344 с.
5. Нейфец А., Немаг-Нассер С. Упругие волны в неоднородных упругих средах.— Тр. Амер. общ. инж.-мех., сер. Е, Прикладная механика, 1972. № 3, с. 58—65.
6. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям.— М.: Наука, 1976.— 576 с.
7. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах.— М.: Наука, 1973.— 343 с.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Б. А. АРЕФЬЕВ, З. М. АРТУНЯН

ОСОБЕННОСТИ УПЛОТНЕНИЯ МАТРИЦЫ  
ПРИ КОМПАКТИРОВАНИИ ВКМ С ПЕРЕКРЕСТНЫМ  
АРМИРОВАНИЕМ

Во многих случаях изделия из волокнистых композиционных материалов (ВКМ), работая в сложно-напряженном состоянии, должны обладать высокими характеристиками в сочетании с пониженной анизотропией свойств. Реализация таких требований обычно достигается оптимизацией структуры материала за счет сложных схем послойного расположения волокна — перекрестного армирования. Получение такого материала связано с компактированием пакетной заготовки, собранного из монослоев однонаправленного материала, с заданной разориентацией волокна по слоям, т. е. укладка каждого последующего слоя должна производиться под заданным углом  $2\varphi$  по отношению к предыдущему.

В литературе имеются сведения [1—3] по анализу условий горячего прессования порошковых армированных материалов, однако здесь не учтено влияние волокон на деформирование пористой матрицы. В работе [4] рассмотрены вопросы уплотнения пористой матрицы с учетом влияния армирующих волокон, но без учета возможности перекрестного армирования.

Рассмотрим элемент пакетной заготовки (рис. 1) с перекрестным армированием. Исходный материал имеет следующие параметры: диаметр волокна —  $d_n$ , горизонтальный и вертикальный шаги укладки волокна —  $S_x$  и  $S_y$ , пористость матрицы —  $P_m$ . Волокна пластически не деформируются и служат инструментом, принимающим участие в деформировании матрицы. Уширение материала в процессе деформации отсутствует. При перекрестном армировании возможна только тетрагональная укладка волокна, а в качестве элементарной ячейки принят объем матрицы, заключенный между тремя монослоями (рис. 1).

*Характер деформирования матрицы между волокнами.* В процессе приложения вертикальной нагрузки в элементарной ячейке ВКМ (рис. 1) происходит сближение волокон в вертикальном направлении и матрица в объеме ячейки деформируется направленно. Ранее выполненные исследования показали, что пористость в матрице в первоначаль-

ный момент полностью убирается по линии сближения волокон, а в остальных районах матрицы присутствует остаточная пористость, убрать которую можно двумя путями — за счет дальнейшего перемещения инструмента и перемещения плотных слоев матрицы в межволоконное пространство.

Если в случае однонаправленного материала наблюдается линейная граница сближения волокон в процессе компактирования, то при перекрестном армировании наблюдается точечный контакт. Это затрудняет уплотнение матрицы (ничтожно мал объем плотного материала при точечном контакте) и ограничивает общую деформацию пакетной заготовки минимально допустимым расстоянием сближения волокон. В работе [4] было показано, что минимальное сближение волокна в процессе компактирования пакетной заготовки из ВКМ не должно быть ниже  $1,2 d_f$ , тогда допустимый минимальный объем элементарной ячейки при компактировании можно определить по следующему соотношению:

$$V_{к доп} = 2,4 \frac{S_r^2 d_f}{\sin 2\varphi} \quad (1)$$

Здесь принято, что в процессе компактирования горизонтальный шаг укладки волокна не изменяется (уширения не происходит);  $S_r = S_{r_0}$ , а вертикальный минимально допустимый шаг:  $S_z = 1,2 d_f$ . Сравнение объема плотной ячейки  $V_k$  и допустимо плотной  $V_{к доп}$  позволяет сделать вывод о возможности получения компактного материала единой конструкции, так что при  $V_k \leq V_{к доп}$  матрица в ячейке будет уплотнена, а при  $V_k > V_{к доп}$  матрица остается пористой.

*Влияние конструкции элементарной ячейки.* Примем, что для полного уплотнения матрицы в элементарной ячейке при компактировании без разрушения волокна должно выполняться следующее равенство:

$$V_k = V_{к доп}$$

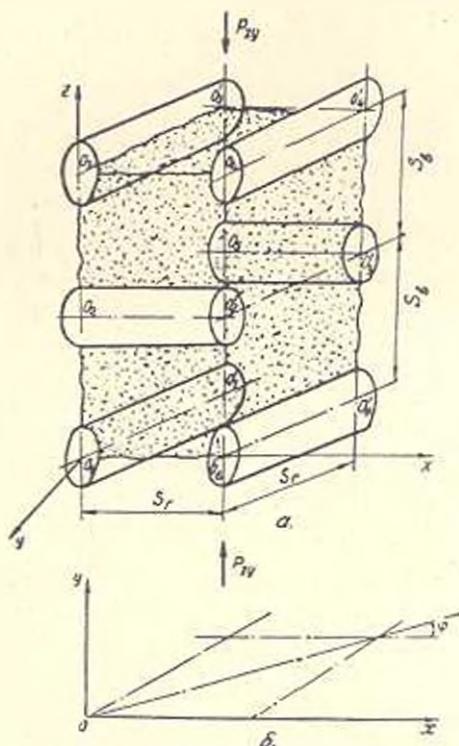


Рис. 1. Схеми элементарной ячейки пакетной заготовки ВКМ с пористой матрицей: а) объемное изображение; б) расположение волокна в плоскости УОХ.

Тогда, исходя из выражения (1), определим допустимую исходную пористость:

$$P_{m \text{ доп}} = 1 - \frac{2,4 S_r d_f - 0,75 \pi d_f^2}{2 S_r S_m - 0,75 \pi d_f^2} \quad (2)$$

С другой стороны, исходный вертикальный шаг укладки волокна  $S_m$  также зависит от исходной пористости и может быть оценен следующим образом:

$$S_m = \left( \frac{0,75 \pi d_f^2}{2 S_r V_f} - d_f \right) (1 - P_m) + d_f, \quad (3)$$

где  $V_f$  — объемная доля волокна.

После подстановки (3) в (2) и преобразования получим формулу для оценки допустимой исходной пористости матрицы в пакетной заготовке:

$$P_{m \text{ доп}} = 1 - \frac{\sqrt{4 S_r^2 d_f^2 + 4 \left( \frac{0,75 \pi d_f^2}{V_f} - 2 S_r d_f \right) 0,75 \pi d_f^2 \frac{1 - V_f}{V_f}} - 2 S_r d_f}{2 \left( \frac{0,75 \pi d_f^2}{V_f} - 2 S_r d_f \right)} \quad (4)$$

Анализ полученной формулы и (рис. 2) показывают, что с увеличением объемной доли волокна увеличивается и допустимый объем пористости матрицы в исходной заготовке. Такая закономерность, естественно, влияет на возможность получения компактного материала без разрушения волокна.

Традиционно на практике матрица в пакетной заготовке может иметь вид фольги, порошка (например, плазмешонопыленная матрица) или их комбинаций. Если принять, что объем матрицы до компактирования  $V_{m_0}$ , а после компактирования —  $V_{m_1}$  (плотная матрица), то исходный объем пор в элементарной ячейке равен

$$V_p = V_{m_0} - V_{m_1}$$

и пористость матрицы в элементарной ячейке в исходном состоянии —

$$P_m = \frac{V_p}{V_{m_0}} = \frac{2 S_r (S_{b_0} - S_{b_1})}{S_r S_m - 0,75 \pi d_f^2} \quad (5)$$

С другой стороны, при использовании матрицы в виде фольги (рис. 3):

$$V_{m_0} = \frac{S_r}{\sin 2\varphi} (2 S_r d_f - 0,75 \pi d_f^2) \quad (6)$$

Тогда для фольговой матрицы выражение (5) с учетом (6) примет вид:

$$P_{\text{вк}} = \frac{2,4S_r d_f - 0,75\pi d_f^2}{2S_r S_m - 0,75\pi d_f^2} \quad (7)$$

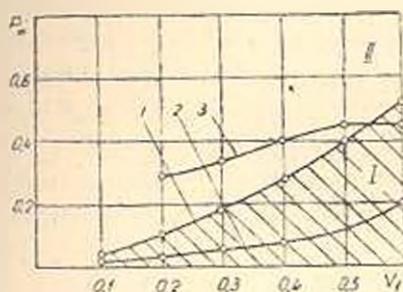


Рис. 2. Зависимость объемной доли армирующих волокон от пористости в элементарной ячейке. I — область допустимой пористости; II — область недопустимой пористости.

1 — допустимая пористость; 2 — пористость с фольговой матрицей; 3 — пористость в плазменнонапыленном полуфабрикате.

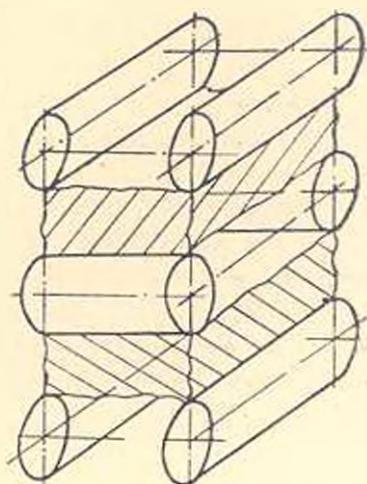
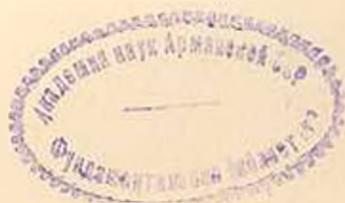


Рис. 3. Схема элементарной ячейки пакетной заготовки ВКМ с фольговой матрицей.

Расчеты по (7) показали (рис. 3), что при использовании фольговой матрицы в любом из рассматриваемых вариантов пакетных заготовок возможно достижение полного уплотнения ячейки при компактировании ВКМ.

Особые сложности возможны при уплотнении порошковой или плазменнонапыленной матрицы, если ее исходная пористость превышает допустимую при данной объемной доле. Так, например, по данным В. И. Калиты пористость матрицы в плазменнонапыленном полуфабрикате изменяется в зависимости от объемной доли армирующих волокон. При этом в случае, если пористость исходной матрицы превышает допустимую (рис. 2), то для получения плотной матрицы в ВКМ при ее компактировании рекомендуется использование комбинированной фольгово-пористой матрицы.



ՄԱՏՐԻՑԱՅԻ ԽՏԱՅՄԱՆ ԱՌԱՆՉՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԽԱՉԱԶԵՎ  
 ՀԻՄՆԱԿՄԱԽՔՈՎ ԹԵԼԻԿԱՎՈՐ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ  
 ԽՏԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա մ փ ո փ ո ս

Քննարկվել են մատրիցայի դեֆորմացման առանձնահատկությունները խաչաձև դասավորված փխրուն թելիկների առկայության ժամանակ. նշված է, որ խաչաձև դասավորված թելիկները անհնարին են դարձնում ԹԿՆ ստանալ թելիկների հերոտհնալ դարսումով, իսկ փաթեթային կիսահումքի կառուցվածքը զգալի չափով ազդում է մատրիցայի տարրային բջջում լիովին խտացմանը: Բացահայտված է տարրային բջջում մատրիցայի թույլատրելի ծակոտկենությունը: Առաջարկված է օգտագործել նրբաթիթեղ փոշեձև մատրիցա, երբ անհնարին է ստանալ անհրաժեշտ ծակոտկենություն ունեցող մատրիցա միայն փոշեձև մատրիցայի սզտագործման դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Колпашиков А. И., Мануйлов В. Ф., Ширяев Е. В. Армирование цветных металлов и сплавов волокнами.— М.: Металлургия, 1974.— 248 с.
2. Карпинос Д. М., Тучинский Л. И., Вишняков Л. Р. Новые композиционные материалы.— Киев: Вища школа, 1977.— 312 с.
3. Матусевич А. С. Композиционные материалы на металлической основе.— Минск: Наука и техника, 1978.— 305 с.
4. Колпашиков А. И., Арефьев Б. А., Мануйлов В. Ф. Деформирование композиционных материалов.— М.: Металлургия, 1982.— 219 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

В. К. БРУТЯН

УПРАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ  
 ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ ПРИ ПОМОЩИ  
 МАХОВИКОВ

*Введение.* Система управления искусственного спутника Земли (ИСЗ) представляет собой комплекс устройств, выполняющих несколько функций, одной из которых является пространственная ориентация с помощью маховиков в кардановом подвесе. Задачей системы пространственной ориентации ИСЗ является управление и стабилизация углового положения ИСЗ относительно заданной системы координат. Подобные задачи рассматривались в [1—4]. В этих работах система управления, использующая обмен количеством движения, обеспечивает компенсацию любых случайных возмущений, и это одна из главных причин, вследствие которой маховик в кардановом подвесе кажется наиболее многообещающим видом исполнительного устройства системы управления и стабилизации для ИСЗ. В связи с этим, в данной работе рассматривается задача синтеза системы управления пространственным положением ИСЗ в заданных пределах при помощи маховиков.

*Постановка задачи.* Пусть векторное уравнение, описывающее угловое движение ИСЗ, имеет вид [5, 6]

$$\dot{x}(t) = A_1 x(t) + \sum_{i=1}^k D_i u_i(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad (1)$$

где  $x(t)$  — вектор ошибок по углам и угловым скоростям ИСЗ;  $A_1 \stackrel{\Delta}{=} A_1(x) = A + \lambda L(x)$ ;  $A$  — постоянная матрица;  $\lambda \stackrel{\Delta}{=} I_0^{-1}$ , а  $I_0$  — максимальный момент инерции ИСЗ;  $L(x)$  — матрица моментов количества движения маховиков (МКДМ);  $x$  — вектор МКДМ;  $D_i$  — постоянные матрицы;  $u_1(t)$  — вектор управляющих вращающихся моментов (создаются маховиками);  $u_2(t)$  и  $u_3(t)$  — векторы измеряемых и неизмеряемых возмущений соответственно.

Форма матриц  $A$ ,  $D_i$  и  $L(x)$  будет описана ниже, однако отметим, что зависимости элементов матрицы  $L(x)$  от вектора  $x$  и от  $t$  непредсказуемы.

При управлении за функционал качества принимается интеграл от квадратичной функции ошибки системы и квадратичной функции управ-

ления. Такой функционал является не только аналитически оправданным, но и в случае управления пространственным положением ИСЗ с помощью маховиков имеет физическую интерпретацию [5]. В данной работе закон управления  $u_i(t)$  быстро уменьшает до нуля ошибки по углу и угловой скорости и в первом приближении обеспечивает значение

$$J = \min_{u_i} \int_0^T (x' B x + u_i' E u_i) dt, \quad (2)$$

где  $B$  и  $E$  — постоянные, положительно определенные симметричные матрицы, а штрих обозначает транспонирование.

При оптимизации предполагается: а) угловая скорость маховиков относительно ИСЗ значительно больше угловой скорости самого ИСЗ; б) управляющие моменты могут быть приложены относительно трех главных осей; в) угловая скорость и ускорение системы координат на порядок ниже, чем возможные ошибки по углу и угловой скорости; г) вектор МКДМ рассматривается как вектор параметров, а не как вектор состояния. При этих предположениях задача синтеза состоит в выборе такого закона управления  $u_i = u_i(x(t), \alpha)$ , который переводит ИСЗ, описываемый уравнением (1), из любого начального состояния  $x_0$  в начало координат, и при этом удовлетворяется функционал качества (2).

*Решение задачи.* Поставленная задача решается методом динамического программирования. Основное функциональное уравнение для рассматриваемой задачи имеет вид

$$-(\partial J / \partial t) = \min_{u_i} \left[ x' B x + u_i' E u_i + (\partial J / \partial x) \left( A_1 x + \sum_{i=1}^3 D_i u_i \right) \right].$$

Нетрудно заметить, что после проведения операции минимизации по переменной  $u_i$  и замены  $u_i$  выражением  $u_i = -0.5 E^{-1} D_i' (\partial J / \partial x)$  получим нелинейное дифференциальное уравнение в частных производных первого порядка

$$\begin{aligned} -(\partial J / \partial x) = & x' B x + (\partial J / \partial x) \left( A_1 x + \sum_{i=1}^3 D_i u_i \right) - \\ & - 0.25 (\partial J / \partial x) D_i E^{-1} D_i' (\partial J / \partial x), \end{aligned} \quad (3)$$

которое следует решать с граничным условием  $J(x_T, T) = 0$ .

Аналитическое решение уравнения (3) невозможно и поэтому, чтобы вычислить оптимальное замкнутое управление, необходимо разработать новые эффективные методы, позволяющие находить квазиоптимальные законы управления и определяющие более быстрый и точный переходный процесс, чем системы управления, полученные на основе линеаризации исходных уравнений.

*Метод 1.* Для решения поставленной задачи синтеза предполагается, что закон управления  $u$ , содержит две компоненты, первая из которых  $u_{11} = u_{11}(t, x)$  предусмотрена для компенсации всех нелинейных членов и измеряемых возмущающих моментов в уравнении (1) и должна удовлетворять алгебраическому равенству

$$D_1 u_{11} = -\lambda L(\alpha) x - D_2 u_2,$$

а вторая  $u_{12}$ , исходя из текущих значений состояния однородной системы  $x = Ax$ , должна компенсировать неизмеряемые и непредсказуемые возмущающие моменты. Здесь переменная  $u_2$  в уравнениях системы пренебрегается. Прикладывая вторую компоненту к уравнению (1), можно получить

$$\dot{x} = Ax + D_1 u_{12}.$$

Управление  $u_{12}$  можно определить из требуемого функционала качества

$$J_1 = J_1(x) = \min_{u_{12}} \int_0^{\infty} (x' B x + u_{12}' E u_{12}) dt.$$

Уравнение (3), связанное с этой задачей, имеет вид:

$$-0,25(\partial J_1 / \partial x) D_1 E^{-1} D_1' (\partial J_1 / \partial x) + (\partial J_1 / \partial x) A x + x' B x = 0, \quad J_1(0) = 0. \quad (4)$$

а компонента  $u_{12}$  определяется выражением  $u_{12} = -0,5 E^{-1} D_1' (\partial J_1 / \partial x)$ . Известно, что решением уравнения (4) является квадратичная функция  $J_1(x) = x' \Gamma x$ , где  $\Gamma$  есть симметричная, положительно-определенная матрица, которая удовлетворяет равенству [5]

$$\Gamma A + A' \Gamma - \Gamma D_1' E^{-1} D_1 \Gamma + B = 0.$$

В этом случае управление  $u$  есть сумма управлений  $u_{11}$  и  $u_{12}$ .

*Метод 2.* Для получения квазиоптимального управления  $u_1$  разделяется на две компоненты:  $u_{13}$  и  $u_{14}$ , где  $u_{13}$  определяется из алгебраического равенства  $D_1 u_{13} = -D_2 u_2$ . Исключая управление  $u_{13}$  из уравнения (1), можно получить  $\dot{x} = A_1(\alpha) x + D_1 u_{14}$ .

Управление  $u_{14} = u_{14}(t, x)$  можно определить из функционала качества

$$J_2 = J_2(x, \alpha) = \min_{u_{14}} \int_0^{\infty} (x' B x + u_{14}' E u_{14}) dt.$$

В этом случае уравнение (3) принимает вид:

$$-0,25(\partial J_2 / \partial x) D_1 E^{-1} D_1' (\partial J_2 / \partial x) + (\partial J_2 / \partial x) A_1 x + x' B x = 0, \quad J_2(0, \alpha) = 0. \quad (5)$$



ՆՐԿՐԻ ԱՐՇԵՍՏԱԿԱՆ ՄՈՂՈՐԱԿԻ ՏԱՐԱՇԱԿԱՆ ԳՐՈՒԹՅԱՆ  
ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄԸ ԹԱՓԱՆԻՎՆԵՐԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ո ս լ մ

Դիտարկվում է երկրի արհեստական մոլորակի տարածական դրոփյան ոչ զծային համակարգի սինթեզման խնդիրը թափանիվների օգնությամբ: Մշակվում են խնդրի լուծման ինժեներական մեթոդներ, որոնք հնարավորություն են տալիս կառուցել կեղծ օպորիմալ ոչ զծային կառավարելի համակարգեր և ապահովում են այդ համակարգերում ավելի ճիշտ կառավարման կանոններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Имадо Ф., Саито Х.* Система ориентации спутника по крену и рысканию со смещенными двигателями малой тяги. — В кн.: Ориентация и стабилизация спутников. — М.: Наука, 1978, с. 43—50.
2. Электромеханическая система для ориентации и стабилизации автономных модулей и легких орбитальных станций / *Б. Н. Петров, Н. И. Шереметьевский, Н. И. Данилов* и др. — В кн.: Системы управления. — М.: Наука, 1978, с. 89—94.
3. *Хоудзэвей Р.* Использование двигателей малой тяги для коррекции орбиты и для управления положением спутников. — В кн.: Наагтация. Назедеение и оптимизация управления. — М.: Наука, 1978, с. 14—21.
4. *Лисович И. М., Кастрова В. В., Астанина И. И.* О возможной классификации и сравнительной оценке различных методов начальной солнечной ориентации космического аппарата. — В кн.: Управление в пространстве, т. 2. — М.: Наука, 1973, с. 55—63.
5. *Брутян В. К.* Основные аспекты теории непрерывных марковских управляемых систем и ее приложение. — Ер.: Айастан, 1984. — 298 с.
6. Нижнерный справочник по космической технике / Под ред. *А. В. Солодова*. — М.: Воен. изд-во МО СССР, 1977. — 430 с.
7. *Брутян В. К.* Синтез марковских управляемых систем с неопределенными параметрами. — Докл. АН АрмССР, 1983, т. 77, № 3, с. 108—113.
8. *Брутян В. К.* Об одной задаче синтеза нелинейных марковских управляемых систем методом полиномиальной аппроксимации. — Автоматика и телемеханика, 1980, № 7, с. 51—61.

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Г. В. ЯЛОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
ОБЪЕКТА ОТ СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

В [1] описан параметрический метод оценки качества объекта, основанный на формировании логических связей между критерием качества объекта и его характеристиками.

С целью интегральной оценки ( $A$ ) качества некоторого подмножества объектов  $S'$  множества  $M$  в первом приближении предлагалось использовать среднеарифметическое оценок  $A$  объектов, входящих в это подмножество. Как было отмечено, способ задания интегральной оценки зависит от шкалы, с помощью которой измерялись параметры объектов из множества  $M$ .

Рассмотрим два основных типа шкал измерений: шкалы порядка и интервалов [2]. Если с помощью оценок  $A$  может быть установлен лишь порядок объектов из  $S'$  в смысле их качества, но не соотношения уровней качества объектов, то будем считать, что объекты из  $S'$  измерены в шкале порядка. В случае же шкалы интервалов предполагается не только сравнение двух объектов на предмет уровня их качества, но и определение разницы между уровнями их качества — разница между уровнями качества объектов  $s_1$  и  $s_2$  во столько-то раз больше разницы между уровнями качества объектов  $s_3$  и  $s_4$ .

Преобразовав оценки  $A$  с помощью произвольной монотонно возрастающей функции  $\varphi$ , получим новые оценки  $A' = \varphi(A)$ , которые сохраняют прежний порядок объектов и потому также могут служить в качестве оценок объектов, измеряемых в шкале порядка.

Функции  $\varphi$  и  $\varphi(A)$  также являются оценками с сохранением всех соотношений между ними, характерных для данной шкалы, и называются допустимыми преобразованиями шкалы. На практике же удобнее постулировать наоборот: определять тип шкалы с помощью задания допустимых преобразований. Тогда шкала интервалов — это шкала, допустимым преобразованием для которой является положительное линейное преобразование:

$$\varphi(A) = kA + p, \quad k > 0. \quad (1)$$

Тогда естественно требование, чтобы результат работы алгоритма оценки качества объекта был бы инвариантным относительно допустимых преобразований шкалы. Этот результат с новыми оценками  $A' = \varphi(A)$  окажется в общем случае тождественным с прежним тогда и только тогда, когда справедливо следующее утверждение:

$$\bar{A}(M_1) \cong \bar{A}(M_2) \longrightarrow \bar{A}'(M_1) \cong \bar{A}'(M_2),$$

где  $M_1, M_2$  — произвольные подмножества;  $\bar{A}, \bar{A}'$  — оценки подмножеств, вычисленных на основе прежних и новых оценок  $A$  и  $A'$ .

В частности, для оценок, полученных при помощи среднесарифметического, должно выполняться:

$$\frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} A_i \cong \frac{1}{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} A_j \longrightarrow \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} \varphi(A_i) \cong \frac{1}{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} \varphi(A_j). \quad (2)$$

Можно привести пример монотонно возрастающей функции  $\varphi$ , для которой (2) неверно. Действительно, пусть  $M_1 = \{2, 4\}$ ,  $M_2 = \{3\}$ ,  $\varphi(A) = A^2$ . Тогда:  $\bar{A}(M_1) = 3$ ;  $\bar{A}(M_2) = 3$ ;  $\bar{A}'(M_1) = 10$ ;  $\bar{A}'(M_2) = 9$ .

Таким образом:  $\bar{A}'(M_1) > \bar{A}'(M_2)$ , в то время как  $\bar{A}(M_1) = \bar{A}(M_2)$ . Легко показать, что для положительного линейного преобразования (2) верно:

$$\begin{aligned} \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} A_i \cong \frac{1}{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} A_j &\longrightarrow \frac{1}{m_1} k \sum_{i=1}^{m_1} A_i + p \cong \frac{1}{m_1} k \sum_{i=1}^{m_1} A_i + p \longrightarrow \\ &\longrightarrow \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} (kA_i + p) \cong \frac{1}{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} (kA_j + p). \end{aligned}$$

Оказывается, если дополнительно потребовать непрерывность допустимого преобразования шкалы, то (1) является единственной функцией, удовлетворяющей (2).

*Теорема.* Условие (2) для функции  $\varphi$  из  $R$  выполняется тогда и только тогда, когда  $\varphi$  есть функция вида (1).

Достаточность уже доказана. Докажем необходимость.

Для любых двух подмножеств  $M_1$  и  $M_2$  должно выполняться:

$$\frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} A_i = \frac{1}{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} A_j \longrightarrow \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} \varphi(A_i) = \frac{1}{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} \varphi(A_j). \quad (3)$$

Выберем

$$M_1: A_i = A, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad M_2: A_1 = nA; \quad A_j = 0, \quad j = 2, 3, \dots, n. \quad (4)$$

Очевидно, что

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_j$$

и, следовательно, согласно (3):

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi(A_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \varphi(A_j).$$

Или используя (4):

$$n\varphi(A) = \varphi(nA) + (n-1)\varphi(0),$$

откуда

$$\varphi(nA) = n\varphi(A) - (n-1)\varphi(0). \quad (5)$$

Сделаем в (5) замену  $A$  на  $\frac{1}{n}A$ :

$$\varphi(A) = n\varphi\left(\frac{1}{n}A\right) - (n-1)\varphi(0)$$

или

$$\varphi\left(\frac{1}{n}A\right) = \frac{1}{n}\varphi(A) - \left(\frac{1}{n} - 1\right)\varphi(0). \quad (6)$$

В (6) вместо  $A$  подставим  $mA$ :

$$\varphi\left(\frac{m}{n}A\right) = \frac{1}{n}\varphi(mA) - \left(\frac{1}{n} - 1\right)\varphi(0).$$

Используя (5), получаем:

$$\begin{aligned} \varphi\left(\frac{m}{n}A\right) &= \frac{1}{n} [m\varphi(A) + (m-1)\varphi(0)] - \left(\frac{1}{n} - 1\right)\varphi(0) = \\ &= \frac{m}{n}\varphi(A) - \left(\frac{m}{n} - 1\right)\varphi(0). \end{aligned} \quad (7)$$

Теперь рассмотрим подмножества:

$$M_1: A_1 = A, \quad A_2 = -A; \quad M_2: A_1 = A_2 = 0.$$

Так как  $\frac{1}{2} [A + (-A)] = \frac{1}{2} [0 + 0]$ , то в силу (3):

$$\varphi(A) + \varphi(-A) = 2\varphi(0),$$

откуда

$$\varphi(-A) = 2\varphi(0) - \varphi(A). \quad (8)$$

Заменяя в (7)  $A$  на  $-A$  и используя (8), получим:

$$\varphi\left(-\frac{m}{n}A\right) = -\frac{m}{n}\varphi(A) - \left(-\frac{m}{n} - 1\right)\varphi(0). \quad (9)$$

Итак, при любом рациональном  $\rho$  верно:

$$\varphi(\rho A) = \rho \varphi(A) - (\rho - 1) \varphi(0),$$

в том числе при  $A = 1$ :

$$\varphi(\rho) = \rho \varphi(1) - (\rho - 1) \varphi(0)$$

или

$$\varphi(\rho) = (\varphi(1) - \varphi(0))\rho + \varphi(0).$$

Обозначив  $\varphi(1) - \varphi(0) = k$ ,  $\varphi(0) = p$ , получим общий вид функции  $\varphi$  для рационального  $\rho$ :

$$\varphi(\rho) = k\rho + p. \quad (10)$$

Предполагая функцию  $\varphi$  непрерывной, несложно показать, что функция  $\varphi$  будет иметь вид (10) при любом действительном аргументе  $A$ .

В самом деле, для любого  $A$  можно организовать последовательность рациональных чисел, сходящихся к  $A$ :

$$\{\rho_n\} \rightarrow A.$$

Для любого  $\rho_i$  будет выполняться (10). Переходя к пределу в обеих частях равенства, получаем:

$$\varphi(A) = kA + p.$$

При условии (2) вместо (3) очевидно, что коэффициент  $k$  должен быть положительным.

Таким образом, теорема доказана полностью.

Применение в качестве оценки подмножества средисарифметического адекватно шкале интервалов для оценок объектов. Это означает, что изменение всех оценок в  $K$  раз (например, применение вместо 5-балльной шкалы 10-балльной, но с тем же количеством градаций), сдвиг всей шкалы (вместо шкалы от 1 до 5 баллов использовать шкалу от 0 до 4) не исказит работу алгоритма оценки качества объекта. С другой стороны, никакая шкала более слабая, чем шкала интервалов не может быть использована в данном случае.

Результаты исследования позволяют привести предложенный в [1] алгоритм к виду, наиболее адекватному реальным условиям оценки качества объектов.

ՈՐՅԵԿՏԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ  
ՆՐԱ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ԶԱՓՄԱՆ ՔՆՈՒՅԹԻՑ

Ա մ փ ո փ ու մ

Դիտարկվում են օբյեկտի որակի գնահատման նույնականության վրա նրա պարամետրերի շափման մեթոդի ազդեցության տեսական հետազոտության արդյունքները: Բերվում են շափման մեթոդի ընտրման հիմնավորված առաջարկություններ, որոնք նախկինում առաջարկված օբյեկտի որակի գնահատման պարամետրական մեթոդի հետ միասին թույլ են տալիս ստանալ որակի գնահատականներ, որոնք բավականին համապատասխանում են իրականին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ялоян Г. В. Об одном параметрическом методе оценки качества объекта — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1985, т. XXXVIII, № 3, с. 11—14.
2. Загоруйко Н. Г. Методы обнаружения закономерностей. — М.: Наука, 1981 — 284 с.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Б. Е. САФАРОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО НОРМАТИВА  
ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОПОЛНЯЕМЫХ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

Одним из важных направлений повышения эксплуатационной надежности обслуживаемых технических средств (ТС) является разработка научно обоснованных методов обеспечения ТС необходимым количеством запасных частей (ЗЧ) в процессе их функционирования.

Как показали исследования, если в экономико-математической модели издержки содержания запаса склада определять не по начальному, а по среднему запасу за плановый период, то кривые оптимального норматива запаса имеют характер прямых линий, пересекающихся в одной точке. Это обстоятельство позволяет получить достаточно точное аналитическое выражение этих прямых, которое можно использовать при решении некоторых задач оптимального управления ЗЧ.

Рассмотрим получение указанной формулы. Так же, как и в [1], примем, что на начало планового периода (года) региональный склад обеспечивается определенным комплектом ЗЧ для обслуживания ТС по вызову (аварийного обслуживания). Периодически в плановом порядке запас склада по каждой  $i$ -й номенклатурной позиции ЗЧ пополняется до первоначального уровня  $x_{0i}$ .

Потребность ТС в данной ЗЧ удовлетворяется за счет наличного запаса склада. Если нужной ЗЧ на складе нет, то подается экстренная (аварийная) заявка складу вышестоящего уровня, в результате чего ЗЧ через фиксированный интервал времени доставляется к ТС. За время экстренной поставки ТС простаивает. Предполагается, что требования на выдачу со склада ЗЧ каждого  $i$ -го типа образуют простейший (пуассоновский) поток с интенсивностью  $\lambda_i$  требований в год от одного ТС.

Суммарные годовые издержки для  $i$ -го типа ЗЧ выразим в виде:

$$H_i = H_i^1 + H_i^2 + H_i^3 + H_i^4, \quad (1)$$

где  $H_i^1$ ,  $H_i^2$ ,  $H_i^3$  — годовые затраты на хранение, экстренные поставки и плановое пополнение запасных частей, а  $H_i^4$  — издержки, вызванные простоем ТС из-за отсутствия ЗЧ.

Слагаемые выражения (1) представим в виде [1, 2]:

$$И_i^1 = \beta C_i E\{x_{срi}\}; \quad И_i^2 = \alpha_i D(x_{ni});$$

$$И_i^3 = \frac{1}{t_{ni}} \theta_i; \quad И_i^4 = \alpha \tau_i D(x_{ni}),$$

где  $\beta = 0,15$  — коэффициент удельных затрат хранения запаса в течение года;  $C_i$  — стоимость одной ЗЧ, руб.;  $\alpha_i$  — стоимость одной экстренной поставки, руб.;  $E\{x_{срi}\}$  — ожидаемое среднегодовое количество ЗЧ на складе;  $D(x_{ni})$  — ожидаемое число экстренных поставок за год;  $\theta_i$  — затраты одной плановой поставки ЗЧ, руб.;  $\alpha$  — ущерб, вызванный простоем одного ТС за единицу времени, руб./ч;  $t_{ni}$  — период планового пополнения, в долях года;  $\tau_i$  — время одной экстренной поставки, ч.

Согласно [2] можно записать:

$$E\{x_{срi}\} = x_{ni} - \frac{1}{2} E\{x_{yi}\} t_{ni};$$

$$D(x_{ni}) = \lambda_i - E\{x_{yi}\},$$

где  $E\{x_{yi}\}$  — ожидаемое число немедленно удовлетворяемых складом за год требований, а  $\lambda_i = \lambda_i \cdot N$  — ожидаемое число требований за год на выдачу со склада ЗЧ  $i$ -го типа для обслуживания  $N$  единиц ТС.

Выражение для параметра  $E\{x_{yi}\}$  согласно [2] имеет вид:

$$E\{x_{yi}\} = \begin{cases} 0 & \text{при } x_{ni} = 0; \\ \lambda_i P_{x_{ni}-1} + \frac{1}{t_{ni}} x_{ni} (1 - P_{x_{ni}}) & \text{при } x_{ni} > 0, \end{cases}$$

где

$$P_{x_{ni}} = \sum_{r=0}^{x_{ni}} \frac{a_i^r}{r!} e^{-a_i}; \quad a_i = \lambda_i t_{ni}$$

Задача сводится к нахождению оптимальных значений  $x_{ni}^*, \lambda_i$ , соответствующих минимуму суммарных издержек системы по всем типам ЗЧ ( $i = 1 - n$ ):

$$И = \sum_{i=1}^n И_i \quad (2)$$

Минимизация сепарабельной функции (2) эквивалентна минимизации  $И_i$  по выражению (1). По аналогии с [1, 2] нетрудно показать, что выражение (1) по параметру  $x_{ni}$  есть вогнутая унимодальная

функция. Для нахождения значения аргумента  $x_{ni}^0$ , соответствующего минимуму функции  $I_i$ , определим

$$\begin{cases} I_{x_{ni}+1} - I_{x_{ni}} \geq 0, \\ I_{x_{ni}} - I_{x_{ni}-1} \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Подставляя в (3) соответствующие ранее полученные выражения, условие получения значения  $x_{ni}^0$  примет вид

$$P_{x_{ni}^0-1} \leq 1 - \frac{\beta}{B_i} \leq P_{x_{ni}^0}, \quad (4)$$

где

$$B_i = \frac{1}{2}\beta + \frac{a_i + \chi^2_i}{C_i}. \quad (5)$$

Используя табличные значения распределения вероятностей Пуассона из [3], построим графическую зависимость  $x_{ni}(a_i, B_i)$  по аналогии с [1]. Для этого, задаваясь определенными значениями  $x_{ni}$  и  $a_i$ , по выражению (4) находят соответствующие значения  $B_i$ .

Полученную графическую зависимость удобно представить в логарифмических координатах, в виде семейства кривых (рис.) граничных значений оптимального норматива ЗЧ (индекс  $i$  у параметров на рисунке опущен). Эти кривые на определенном участке можно достаточно точно аппроксимировать прямыми, пересекающимися в одной точке. Полученный набор прямых аналитически выражается формулой

$$x_{ni} = \frac{1,4 + 1,87 (\lg a_i + \lg B_i)}{1 - \lg a_i}. \quad (6)$$

Получаемое по (6) расчетное значение  $x_{ni}$  следует округлять до ближайшего большего целого числа для получения оптимального значения  $x_{ni}^0$ .

Формула (6) позволяет получать достаточно точные результаты, соизмеримые с достоверностью исходных данных, для значений  $0,15 < B_i < 12$  и  $0,15 < a_i < 7$ . Для иных значений  $B_i$  и  $a_i$  следует пользоваться другими методами расчета.

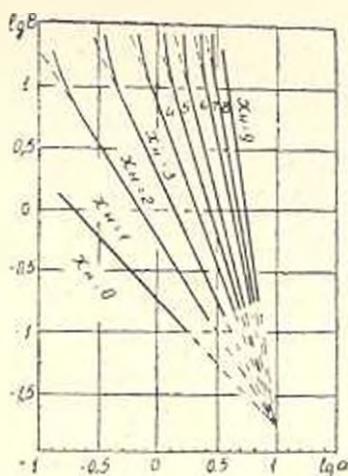


Рис. График определения оптимального норматива запаса.

ՊԱՐԲԵՐՅԱԲԵՐ ԼՐԱՑՎՈՂ ՊԱՀԵՍՏԱՄԱՐԱԿԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ  
ՆՈՐՄԱՅՈՒՅՑԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

## Ա մ փ ո փ ու մ

Բերված է տարրեր տեխնիկական սարքերի տեխնիկական սպասարկման համար պահեստամասերի օպտիմալ նորմացույցի որոշման բանաձևի ստացումը: Բանաձևը ճիշտ է ռեզիոնայ պահեստի պաշարների պարբերաբար լրացման դեպքում և համապատասխանում է «տեխնիկական միջոցներ-պահեստամասեր» համակարգի գումարային նվազագույն ծախսերին: Պահեստի պաշարի պահպանման ծախսերը որոշված են ըստ պաշարի միջին բանակի պլանային ժամանակամիջոցի համար: Լեշխատանքում ստացված պաշարի օպտիմալ նորմացույցի կորերը ունեն մոտափորապես ուղիղ գծերի տեսք և արտաչայտված են հասարակ վերլուծական բանաձևով:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сафаров Б. Е. Номограммы оптимальных нормативов на запасные части при периодическом пополнении запасов региональных складов.— Надежность и контроль качества, 1985, № 2, с. 3—10
2. Сафаров Б. Е. Основные показатели функционирования системы обеспечения запасными частями в модели периодического пополнения запасов регионального склада.— Вопросы радиоэлектроники, 1982, сер. ЭВТ, вып. 15, с. 140—149.
3. Мюллер П., Шторм Р., Нойман П. Таблицы по математической статистике.— М.: Финансы и статистика, 1982.— 278 с.

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. М. КУРЕՂՇԻԿ, Л. А. БОЛИ, Б. Г. КОНОՂԼԵՎ, М. А. ԿԱՐԱՊԵՂՅԱՆ

### ՏԱՊՐ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵԳԵԿԱԿԱԿԱՆ ՍԵՐԻՅ

Эффективная реализация достижений современной микроэлектронной технологии в значительной степени определяется наличием соответствующих средств автоматизации проектирования. Данное положение приобретает особую актуальность при проектировании специализированных СБИС с функциональной производительностью до  $10^{13}$  вентиль Гц/см<sup>2</sup>. Существующие САՂՐ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵԳԵԿԱԿԱՆ ՍԵՐԻՅ не в полной мере удовлетворяют потребностям производства. Им присущи некоторые недостатки: 1) возможность организации процесса проектирования только для одного конкретного технологического процесса изготовления СБИС; 2) ограниченность уровня автоматизации, определяющая необходимость привлечения к процессу проектирования квалифицированных специалистов; 3) отсутствие возможности организации автоматизированного сквозного проектирования топологии кристалла от уровня описания структурной схемы СБИС до изготовления фотошаблонов; 4) переход на новую САՂՐ при изменении технологического процесса и необходимость переподготовки обслуживающего персонала; 5) ограниченное число входов в САՂՐ, что затрудняет интеграцию различных средств автоматизации проектирования СБИС в единую систему; 6) необходимость одновременного сопровождения большого числа САՂՐ для получения проектных решений по каждому технологическому варианту. Эти обстоятельства определяют актуальность совершенствования организации САՂՐ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵԳԵԿԱԿԱՆ ՍԵՐԻՅ и отдельных компонентов их обеспечения.

Синтез топологии микросхемы выполняется в соответствии с конструктивно-технологическими ограничениями и правилами проектирования. Конструктивно-технологические ограничения (проектные нормы) определяют предельные значения геометрических размеров топологических элементов. Правила проектирования определяют взаимное расположение топологических элементов как в одном слое (на одном шаблоне), так и в разных слоях (на совмещаемых участках разных шаблонов). При переходе от одного конструктивно-технологического варианта СБИС к другому изменяются правила проектирования и конструктивно-технологические ограничения.

Рассмотрим обобщенные модели в САПР для используемого набора технологий СВИС. Анализ технологии изготовления микросхем в [1] показал, что на практике используется от 4 до 13 слоев (шаблонов). При увеличении числа слоев более 13—15 процент выхода годных микросхем существенно снижается. На рис. 1 в качестве примера представлены структуры некоторых элементов, используемых в СВИС: ИЭЛ (а), ИЭЛ с металлической базовой переключкой (б), И—МОП (в), КМОП (г). В табл. 1 сведены обозначения слоев (шаблонов) для различных технологий: *D* — диффузия или имплантация примесей; *L* — изоляция; *P* — поликремний; *C* — изолирующий слой с контактными окнами; *M* — слой проводников

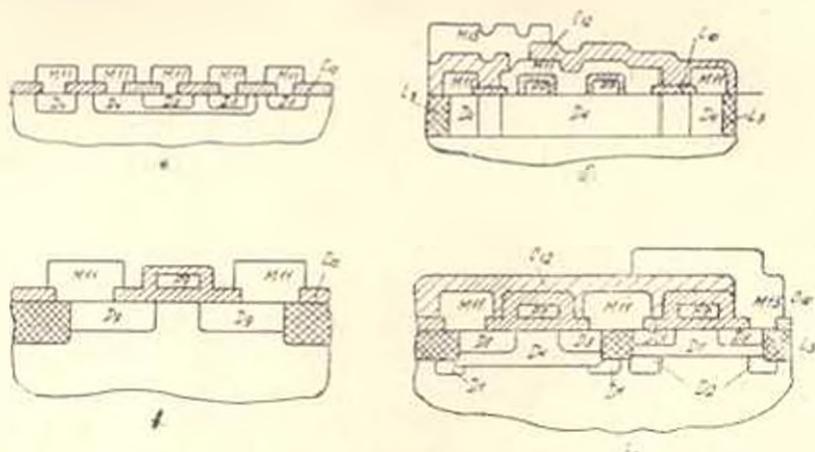


Рис. 1. Структура основных элементов СВИС: ИЭЛ (а), ИЭЛ (б), И—МОП (в), КМОП (г).

Таблица 1

Расширяемый набор и обозначения слоев основных конструктивно-технологических вариантов СВИС.

№	Функция	Опознач.	ИЭЛ (4Ф/Ш)	ИЭЛ МЭС (7Ф/Ш)	К МОП (12Ф/Ш)	И—МОП (4Ф/Ш)
1	Скрыт. слой (диф. имп.)	$D_1$	—	—	$D_1$	—
2	Диффузия (имп.)	$D_2$	—	—	$D_2$	—
3	Изоляция	$L_3$	—	$L_3$	$L_3$	$L_3$
4	Диффузия (имп.)	$D_4$	$D_4$	$D_4$	$D_4$	—
5	Диффузия (имп.)	$D_5$	$D_5$	—	$D_5$	—
6	Контакт	$C_6$	—	—	—	—
7	Поликремний	$P_7$	—	$P_7$	$P_7$	$P_7$
8	Диффузия (имп.)	$D_8$	—	—	$D_8$	—
9	Диффузия (имп.)	$D_9$	—	—	$D_9$	$D_9$
10	Контакт	$C_{10}$	$C_{10}$	$C_{10}$	$C_{10}$	$C_{10}$
11	Металл	$M_{11}$	$M_{11}$	$M_{11}$	$M_{11}$	$M_{11}$
12	Контакт	$C_{12}$	—	$C_{12}$	$C_{12}$	—
13	Металл	$M_{13}$	—	$M_{13}$	$M_{13}$	—

Анализ различных схемно-конструктивных и технологических вариантов реализации СБИС показал, что приведенный в табл. 1 набор слоев достаточен для реализации практически всех типов микросхем.

Таблица 2  
Обобщенное описание сочетаний слоев.

Табл. 2 представляет собой обобщенное описание разрешенных и запрещенных (—) сочетаний слоев микросхем, реализованных с использованием набора шаблонов, приведенного в табл. 1. Точкой отмечены сочетания, включающие одноименные слои. Сочетание типа  $M_{i1} \times M_{i2}$  обозначают контакт между слоями. При необходимости увеличить количество слоев (шаблонов) сверх 13, табл. 3 легко дополнить.

При настройке САПР на конкретное задание задаются слои используемой структуры, как показано на рис. 1 и в табл. 1, или указывается тип структуры, если ранее уже использовался данный конструктивно-технологический вариант и информация о данном варианте имеется в архиве САПР.

В управляющем ядре обобщенная табл. 3 упрощается исключением неиспользуемых слоев. Аналогично, в ядре автоматически формируется описание для любого данного конструктивно-технологического варианта микросхемы.

Автоматизированное проектирование СБИС на базовом наборе технологических вариантов предполагает использование архитектуры САПР, отличающейся от традиционной. Предлагается использовать следующую архитектуру САПР СБИС (рис. 2). Отличительными признаками такой САПР являются:

- наличие возможностей перестроения архитектуры под конкретный технологический процесс изготовления СБИС;
- использование унифицированных формализованных моделей кристаллов СБИС для набора различных технологий (ИЗЛ,  $n$  — МОП,

(КМОП, ИЭЛ и др) в сочетании с соответствующими алгоритмами решения конструкторских задач:

- использование универсальных алгоритмов на всех этапах проектирования СВИС, адаптирующихся к специфическим ограничениям конкретных технологий;

- наличие в ПО САПР специальных блоков, организующих перестройку архитектуры САПР на конкретный технологический процесс;

- наличие организации нисходящего и восходящего процессов проектирования в одной САПР;

- наличие нескольких входов в САПР, т. е. возможность проектирования от структурной, функциональной, принципиальной схем, а в перспективном варианте — проектирование от описания поведения объекта проектирования;

- присутствие расширенной базы данных с библиотекой проектных решений по всему набору технологических вариантов.

САПР СВИС с ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

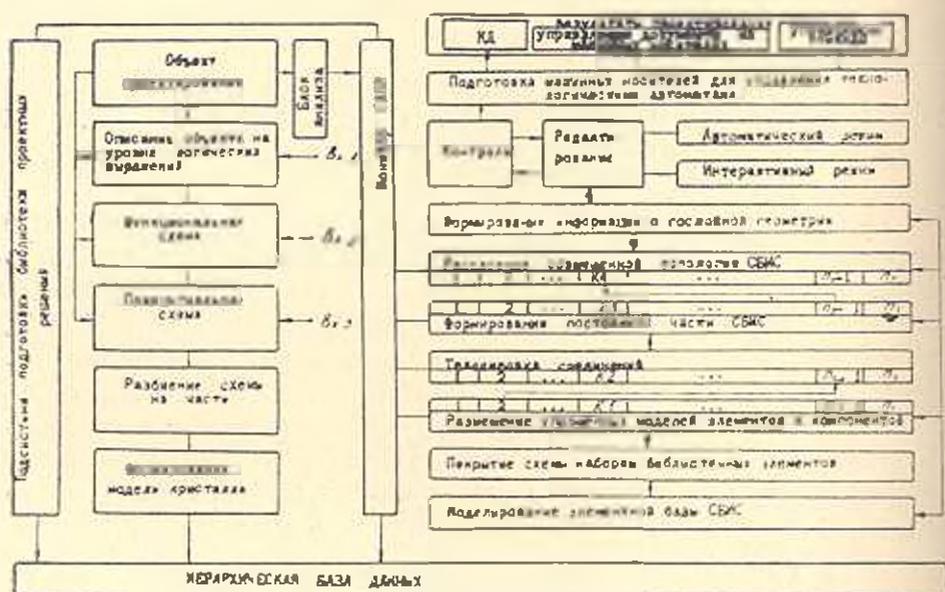


Рис. 2. САПР СВИС с перестраиваемой архитектурой.

Важным средством управления процесса проектирования служит использование иерархии используемых проектных решений, в частности, при конструировании кристалла и выполнении проверки правильности использования правил проектирования топологии. В основе этих методов лежит структурированное иерархическое представление топологии СВИС и использование упрощенного представления фрагментов топологии при их передаче для проверки на более высокий уровень иерархии. Упрощенное описание отражается структурой данных, состоящей из: 1) размеров аппроксимирующего прямоугольника; 2) списка

атрибутов внешних выводов фрагментов, которые включают информацию об их геометрических, электрических и логических свойствах. Фрагменты топологии нижнего уровня иерархии содержат ссылки только на топологические примитивы, а фрагменты топологии последующих уровней наряду с топологическими примитивами могут содержать ссылки на другие параметры топологии. На основе этих описаний формируется набор описаний структурных и функциональных компонентов СБИС, которые оформляются в виде процедур. При конструировании топологии полное и упрощенное описания фрагментов формируются посредством обращения к процедуре с указанием необходимых параметров, предусмотренных описанием (разрядности, электрических характеристик и т. п.).

Использование технологически инвариантных САПР с перестраиваемой архитектурой позволяет реализовать новые дополнительные возможности. К этим достоинствам следует отнести: 1) возможность перестройки архитектуры САПР для реализации различных методологий проектирования без перехода к новой САПР; 2) наличие нескольких входов в САПР, с которых можно выполнять проектирование топологии кристалла; 3) ограничение уровней представления СБИС, которые необходимы для организации процесса проектирования; 4) технологическая инвариантность возможно большого числа уровней описания проектных решений; 5) формализация описания конструкторско-технологических требований технологических процессов изготовления кристаллов и возможность их использования в процессе адаптации компонентов обеспечения САПР; 6) отсутствие необходимости приобретения, внедрения и сопровождения новых САПР при переходе на новую технологию изготовления СБИС.

Վ. Ս. ԿԱՌԵՅՉԻԿ, Լ. Ս. ԲՈՒՐ, Բ. Կ. ԿՈՆՈՂԵՎ, Ա. Մ. ԿԱՐԱԳԵՏՅԱՆ

ՎԵՐԱԿԱԱՎՈՐՎՈՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՈՎ ԿԵՐՄԵՆ ԻՆՏԵԴՐԱԼ  
ՍԵՄԻԱՆԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ԵԱԿԱԳԾՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Գիտարկվում են վերադասավորվող կառուցվածքով տեխնոլոգիական ինվարիանտ ԱՆՀ ԳՄԻՍ-ի ստեղծման հարցերը, ինչպես նաև դրանց հետ կապված մեթոդական, մաթեմատիկական, ձրագրավորման և ինֆորմացիոն ապահովման բաղադրիչների փոփոխման կազմակերպումը: Ներկայացված է տեխնոլոգիական ինվարիանտ ԱՆՀ ԳՄԻՍ կառուցվածքը և նախադժման պրոցեսի արգրիթմը:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Интегральные схемы с микронными и субмикронными размерами (тематический сборник) — ТНИЭР, 1983, т. 71, № 5 — 163 с

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

С. Д. СРАПЯН, С. М. ДУРГАРЬЯН, Л. С. ОГАНИСЯН

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО НЕКОНТАКТНОГО РАСХОДОМЕРА С СОВМЕЩЕННЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ И ТЕРМОПРИЕМНИКАМИ

При изготовлении полупроводниковых приборов возникает необходимость в измерении с высокой точностью весьма малых расходов газоносителей (азота, аргона или кислорода). Для этой цели широко используются калориметрические неконтактные расходомеры [1, 2]. Однако они по своим техническим характеристикам не полностью удовлетворяют требованиям, которые диктуются технологией изготовления полупроводниковых приборов. Всем этим предъявляемым требованиям более полно удовлетворяет рассматриваемый калориметрический расходомер ДРГ-300 [3] с совмещенным нагревателем и термоприемниками с капиллярно-винтовым каналом. Расходомер ДРГ-300 (рис.) представ-

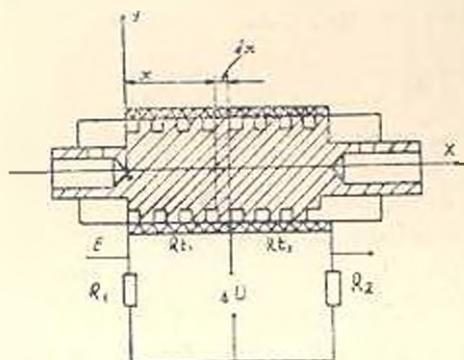


Рис.

ляет собой тонкую трубку из кварцевого стекла, снабженную обмоткой из платиновой проволоки, внутри которой помещен шнек, изготовленный из нержавеющей стали или фторопласта. При прохождении газа в результате неодинакового охлаждения платиновых обмоток произойдет разбаланс электроизмерительного моста, величина которого будет зависеть от измеряемого расхода газа.

В [1] приводится тепловой расчет расходомера без учета теплопроводности трубки. В [4] рассматривается задача без учета потери тепла в окружающую среду, поэтому результаты, полученные по [1] и [4], не согласуются с экспериментальными данными.

В настоящей работе решается задача теплопроводности с учетом всех основных компонентов, входящих в тепловой баланс, что позволяет получить хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных. При решении задачи предполагается, что торцы преобразователя тепло-

изолированы, а физические параметры протекающего газа (удельный вес, теплоемкость, теплопроводность и вязкость) постоянны и имеют значения, соответствующие средней температуре среды.

Для мощности, выделяемой в единице объема преобразователя, имеем:

$$P = I_n^2 R_0 (1 + \beta \theta_{cr}), \quad (1)$$

где  $I_n$  — ток, проходящий по термоприемникам;  $R_0$  — сопротивление термоприемника при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\theta_{cr}$  — превышение температуры стенки и рассматриваемом сечении над температурой измеряемой среды;  $\beta$  — температурный коэффициент термоприемника.

Сформулируем условие теплового баланса для элемента  $dx$  трубки. Подаваемое за время  $dt$  количества тепла  $dQ_0$ , равно сумме отведенного из элемента количества тепла за счет теплопроводности стенки трубки  $dQ_1$ , теплоотдачи в протекающий газ  $dQ_2$  и в окружающую среду  $dQ_3$ :

$$dQ_0 = dQ_1 + dQ_2 + dQ_3. \quad (2)$$

Уравнение теплового баланса (2) с учетом (1) запишется в виде:

$$\frac{d\theta^3}{dx^2} + a_1 \frac{d^2\theta}{dx^2} + a_2 \frac{d\theta}{dx} + a_3\theta = -\frac{a_0}{\beta}. \quad (3)$$

где

$$a_1 = \frac{\alpha \Gamma \lambda_{cr}}{cV}; \quad a_2 = \frac{I_n^2 R_0 + \alpha_0 \Pi_r - \alpha \Gamma \lambda_{cr}}{I_n^2 R_0 S};$$

$$a_3 = \frac{\alpha \Gamma \lambda_{cr}}{\lambda_{cr} S c V} (I_n^2 R_0 S \beta - \alpha_0 \Pi_r); \quad \beta_1 = \frac{I_n^2 R_0 S \beta - \alpha_0 \Pi_r}{I_n^2 R_0 S};$$

$\alpha$  — коэффициент вынужденной конвекции;  $\alpha_0$  — коэффициент теплоотдачи при естественной конвекции;  $\lambda_{cr}$  — коэффициент теплопроводности трубки;  $S$  — сечение трубки;  $\theta_r$  — превышение температуры измеряемой среды в рассматриваемом сечении над ее температурой при входе в канал;  $\Pi_k$  — эффективный периметр канала;  $\Pi_r$  — периметр трубки;  $V$  — объемный расход измеряемого газа;  $C$  — удельная объемная теплоемкость измеряемой среды.

Из (3) получаем характеристическое уравнение

$$k^3 + a_1 k^2 + a_2 k + a_3 = 0.$$

В случае действительных корней характеристического уравнения общее решение уравнения (3) будет иметь вид

$$\theta_1 = C_1 e^{k_1 x} + C_2 e^{k_2 x} + C_3 e^{k_3 x} - \frac{1}{\beta}. \quad (4)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  — корни характеристического уравнения;  $C_1, C_2, C_3$  — постоянные интегрирования.

В случае, когда два корня характеристического уравнения комплексные, общее решение уравнения (3) будет иметь вид

$$\Theta_r = C_1 e^{k_1 x} + C_2 e^{\mu x} \cos \nu x + C_3 e^{\mu x} \sin \nu x - \frac{1}{\beta_1}, \quad (5)$$

где  $k_1$  — действительный корень;  $k_2 = \mu - \nu i$ ;  $k_3 = \mu + \nu i$ .

Постоянные интегрирования определяются из граничных условий

$$\Theta_r \Big|_{x=0} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{d\Theta_{cr}}{dx} \Big|_{x=L} = 0;$$

а) в случае действительных корней характеристического уравнения—

$$C_1 = \frac{1}{\beta_1} \frac{A_{23}}{A_{12} + A_{23} + A_{31}}; \quad C_2 = \frac{1}{\beta_1} \frac{A_{13}}{A_{12} + A_{23} + A_{31}};$$

$$C_3 = \frac{1}{\beta_1} \frac{A_{32}}{A_{12} + A_{23} + A_{31}},$$

где

$$A_{12} = k_1 k_2 \left(1 + \frac{k_1}{a_1}\right) \left(1 + \frac{k_2}{a_1}\right) (e^{k_1 L} + e^{k_2 L});$$

$$A_{23} = k_2 k_3 \left(1 + \frac{k_2}{a_1}\right) \left(1 + \frac{k_3}{a_1}\right) (e^{k_2 L} - e^{k_3 L});$$

$$A_{31} = k_3 k_1 \left(1 + \frac{k_3}{a_1}\right) \left(1 + \frac{k_1}{a_1}\right) (e^{k_3 L} - e^{k_1 L});$$

б) в случае двухкомплексных корней характеристического уравнения—

$$C_1 = \Phi(BN - DM); \quad C_2 = \Phi(DC - AN); \quad C_3 = \Phi(AM - BG),$$

где

$$\Phi = [\beta_1 (BN + DG + MD - AN)]^{-1}; \quad A = k_1 + \frac{k_1^2}{a_1}; \quad B = \frac{\mu^2}{a_1} - \frac{\nu^2}{a_1} + \mu;$$

$$D = \frac{2\mu\nu}{a_1} + \nu; \quad G = k_1 e^{k_1 L} + \frac{k_1^2}{a_1} e^{k_1 L};$$

$$M = e^{\mu L} (B \cos \nu L - D \sin \nu L); \quad N = e^{\mu L} (B \sin \nu L + D \cos \nu L).$$

Имея  $\Theta_r$  изменение температуры газа по каналу трубки определяется:

$$\Theta_{cr} = \Theta_r + \frac{1}{a_1} \cdot \frac{d\Theta_r}{dx},$$

при этом для коэффициента теплоотдачи в газ используется формула:

$$\alpha = \frac{\lambda_g}{d} a (\text{Re})^n \left(\frac{\lambda_g}{\lambda_{\text{вст}}}\right)^m,$$

где  $d$  — внутренний диаметр трубки;  $\lambda_g, \lambda_{ст}$  — коэффициенты теплопроводности газа и шнека.

Для получения зависимости выходного напряжения разбаланса от измеряемого расхода газа следует задаваться значениями  $I_n$  и  $\alpha_0$  из [5] и методом подбора добиваться выполнения равенства [6]:

$$E_0 = \frac{\Delta U R_{01} (R_{\theta_{ср1}} + R_{\theta_{ср2}} + R_1 + R_2) + (R_{\theta_{ср1}} + R_{\theta_{ср2}}) (R_1 + R_2)}{R_{\theta_{ср1}} R_1 + R_{\theta_{ср2}} R_2},$$

где  $E_0$  — напряжение питания моста;  $R_{01}$  — внутреннее сопротивление источника питания;  $R_1, R_2$  — сопротивление плеч моста;  $R_{\theta_{ср1}}, R_{\theta_{ср2}}$  — усредненные значения сопротивлений полуобмоток термоприемника при определенных значениях расхода измеряемого газа;  $\Delta U$  — напряжение разбаланса электронизмерительного моста.

По изложенной методике проделана экспериментальная проверка для некоторых значений расходов воздуха, аргона и кислорода. Сравнение экспериментальных данных с результатами проведенных вычислений показало, что погрешность измерений не превосходит 2,5%. Разработанные расходомеры ДРГ-300 прошли заводские испытания и внедрены на предприятиях МЭП.

14. VI 1985

Ս. Գ. ՄՐԱՊՅԱՆ, Ս. Մ. ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ, Ն. Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

### ՀԱՄԱՏՆԵՎԱԾ ՏԱՔԱՅՈՒՅԻՎՈՎ ԵՎ ԶԵՐՄԸՆԻՈՒՆԻՉՈՎ զԶՊՎՈՂ ԿԱՆՈՒՐԻՄՏԻՐԱԿԱՆ ԾԱԽՍԱԶԱՓԻՄԻ ԶԵՐՄԱՅՈՒՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

#### Ա մ փ ո փ ո ո մ

Ուսումնասիրվել է համատեղված տաքացուցիչով և ջերմընդունիչով շափող կալորիմետրական ծախսաչափիչը նկարագրող ջերմային բալանսի հավասարումը, որում հաշվի են առնված ջերմափոխանակման պրոցեսը բնութագրող բոլոր բաղադրիչները: Որոշակի գազի համար ուղղակի չափումների միջոցով որոշվել են ստիպողական ջերմափոխանակման չափանիշի քանաձևում մասնակցող հաստատունների արժեքները, որոնք բնորոշում են տվյալ ծախսաչափիչը: Օգտագործելով տվյալ ծախսաչափը բնութագրող հաստատունների արժեքները՝ տարբեր գազերի համար համեմատվել են փորձնական և տեսական կողմնակող ստացված ջերմաստիճանի բաշխման կորերը: Կատարված հաշվարկների և փորձի արդյունքների համեմատումը ցույց է տվել նրանց բավարար համընկնումը:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Агайкин Д. И. Магнитные газоанализаторы. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963.—216 с.
2. Коротков П. А., Беляев Д. П., Азидов Р. К. Тепловые расходомеры.—Л.: Машиностроение, 1969.—176 с.
3. Термодинамический датчик малых расходов газа с металлическим терморезисторным преобразователем / С. Д. Срапян, М. Г. Петросян, А. Р. Казаров и др.—Ереван, 1975.—4 с.—Рукопись представлена НИИТМ. Деп. в ВИНИИ 22 июля 1975. № ВМДО 1787.
4. Филиппов И. Ф. Вопросы охлаждения электрических машин.—М.—Л.: Энергия, 1964.—331 с.
5. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукодел А. С. Теплопередача.—М.: Энергия, 1975.—488 с.
6. Нечаев Г. К. Реле и датчики с полупроводниковыми термосопротивлениями.—М.—Л.: Госэнергоиздат, 1961.—111 с.

ГИДРАВЛИКА

С. М. КАЗАРЯН

ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ОБОБЩЕННЫХ СИСТЕМ  
 СКВАЖИН В СЛОИСТЫХ ТОЛЩАХ

Методика расчета обобщенных систем скважин широко применяется в нефтяной подземной гидравлике и при проектировании водопонижения в гидротехническом строительстве [1, 2]. Сущность расчета обобщенных систем скважин заключается в том, что реальные группы скважин заменяются одной эквивалентной скважиной и виде бесконечного числа линейных источников с постоянным суммарным расходом, равномерно распределенных по контуру или площади.

Понижения уровня, вызванные действием одной эквивалентной скважины, естественно, меньше понижения уровня в самих скважинах, поскольку при этом исключается зона наибольшей деформации депрессионной поверхности вблизи каждой скважины. Однако, пользуясь методом фильтрационных сопротивлений, величину дополнительного понижения уровня в скважине можно определить отдельно. При этом имеем [2]:

$$S = S_m + \Delta S_{ск}, \quad (1)$$

где  $S_m$  — понижение уровня, обусловленное действием обобщенной системы;  $\Delta S_{ск}$  — дополнительное понижение в самой скважине.

В данной работе обобщаются и развиваются методы расчета обобщенных систем скважин в слоистых толщах при различных режимах откачки воды из напорных водоносных горизонтов. Используя основные принципы и методы расчета обобщенных скважин [1, 2], приводим расчетные формулы для определения понижения уровней подземных вод в многослойной толще при больших временах откачки воды из различных водоносных горизонтов для линейной (л), кольцевой (к) и площадной (пл) системы скважин в безграничном пласте.

При откачке воды из двух напорных горизонтов с учетом [3] получим:

$$S_i(r, t) = S_{i0}(t) + \frac{Q_{ср}}{4\pi T} M^* R_{x, k, пл}^* + M_i^* R_{x, k, пл}^* \quad (i = 0, 1, 2), \quad (2)$$

где

$$M^* = 1 + \frac{2\pi}{c\beta^0 Q_{ср}} (A^0 B_1^0 T_1 - B_2^0 T_2) \left( \Delta H_{ср} - \frac{\delta_1}{d_1} \right);$$

$$M_{0,1}^* = -\frac{A_0 B_1^0}{C \beta^0} \left( \Delta H_{\text{сп}} - \frac{\delta_1}{d_1} \right); \quad M_2^* = \frac{B_2^0}{C \beta_0} \left( \Delta H_{\text{сп}} - \frac{\delta_2}{d_1} \right); \quad (3)$$

$R_{x,y,z}^*$  — гидравлические сопротивления пласта соответственно для линейной, кольцевой и площадной системы, значения которых определяются по формулам и графикам [2];  $R_{x,y,z}^{**}$  — также называются гидравлическими безразмерными сопротивлениями, которые получены для слоистых толщ:

$$R_x^* = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 K_0(a_{1x}^* \sqrt{(\bar{x} - \bar{\zeta})^2 + \bar{y}^2}) d\bar{\zeta};$$

$$R_{x/\bar{x}=0}^{**} = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 K_0(a_{1x}^* \sqrt{\bar{\zeta}^2 + \bar{y}^2}) d\bar{\zeta};$$

$$R_{x/\bar{y}=0}^{**} = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 K_0(a_{1x}^* |\bar{x} - \bar{\zeta}|) d\bar{\zeta}; \quad a_{1x}^* = \sqrt{\frac{C b_0 l^2}{A^0 a_1}};$$

$$\bar{x} = \frac{x}{l}; \quad \bar{\zeta} = \frac{\zeta}{l}; \quad \bar{y} = \frac{y}{l};$$

$$R_r^* = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} K_0(a_{1r}^* \sqrt{r^2 + 1 - 2r \cos \varphi}) d\varphi; \quad R_{r/\bar{r}=0}^{**} = K_0(a_{1r}^*);$$

$$a_{1r}^* = \sqrt{\frac{C b_0 R_0^2}{A^0 a_1}}; \quad \bar{r} = \frac{r}{R_0};$$

$$R_{na}^* = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \bar{K}_0(a_{1na}^* \sqrt{r^2 + \bar{\rho}^2 - 2\bar{r}\bar{\rho} \cos \varphi}) d\bar{\rho} d\varphi;$$

$$R_{na/\bar{r}=0}^{**} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \bar{K}_0(a_{1na}^* \bar{\rho}) d\bar{\rho}; \quad a_{1na}^* = \sqrt{\frac{C b_0 R_{np}^2}{A^0 a_1}};$$

$$\bar{\rho} = \frac{\rho}{R_{np}}; \quad \bar{r} = \frac{r}{R_{np}}.$$

В (2) и (3) остальные обозначения известны по [3, 4].

При откачке воды только из нижнего и верхнего напорных горизонтов вместо (2) имеем [4, 5]:

$$S_i^*(r, t) = S_{i_0}^*(t) + \frac{Q_{1,2,3}}{4\pi T_2} (R_{x,y,z}^* + A_i^n R_{x,y,z}^{**});$$

$$S_i^0(r, t) = S_{i_0}^0(t) + \frac{Q_{1,2,3}}{4\pi J_1} (R_{x,y,z}^* + A_i^0 R_{x,y,z}^{**}) \quad (i = 0, 1, 2), \quad (5)$$

Таблица 1

Значения функции  $R_{\lambda(\lambda=0)}^{**}(a_{1\lambda}^*, y)$ 

$a_{1\lambda}^*$	y					
	0	0,5	1	2	3	4
0,05	4,092	3,446	2,980	2,380	1,995	1,715
0,1	3,398	2,753	2,286	1,686	1,302	1,022
0,2	2,705	2,060	1,593	0,993	0,608	0,328
0,3	2,299	1,654	1,118	0,587	0,4	0,313
0,4	2,012	1,367	0,899	0,299	0,309	0,184
1	1,095	0,497	0,548	0,104	0,033	0,011
2	0,649	0,249	0,083	0,009	0,001	0
3	0,448	0,109	0,023	0,001	0	0
4	0,345	0,052	0,007	0	0	0
5	0,259	0,025	0	0	0	0

Таблица 2

Значения функции  $R_{\lambda(\lambda=0)}^{**}(a_{1\lambda}^*, x)$ 

$a_{1\lambda}^*$	x					
	0	0,5	1	2	3	4
0,05	4,092	3,745	3,341	2,448	2,022	1,729
0,1	3,398	3,262	2,648	1,755	1,329	1,035
0,2	2,705	2,558	1,955	1,062	0,635	0,341
0,3	2,299	2,163	1,549	0,656	0,349	0,284
0,4	2,012	1,875	1,262	0,458	0,271	0,194
1	1,096	1,065	0,606	0,143	0,042	0,013
2	0,649	0,621	0,302	0,022	0,002	0
3	0,448	0,435	0,19	0,005	0	0
4	0,345	0,335	0,13	0,001	0	0
5	0,259	0,272	0,099	0	0	0

Таблица 3

Значения функции  $R_{\lambda}^{**}(a_{1\lambda}^*, r)$ 

$a_{1\lambda}^*$	r					
	0	0,5	1	2	3	4
0,01	5,721	4,721	4,551	4,028	3,622	3,335
0,02	5,028	4,028	3,872	3,335	2,929	2,642
0,03	4,622	3,622	3,474	2,929	2,524	2,236
0,1	3,418	2,418	2,294	1,725	1,32	1,032
0,2	2,725	1,725	1,614	1,032	0,626	0,338
0,4	2,032	1,032	0,934	0,479	0,256	0,196
1	1,115	0,87	0,41	0,141	0,044	0,011
2	0,914	0,644	0,293	0,025	0,003	0
3	0,635	0,457	0,218	0,006	0,000	0

Значения функции  $R_{\text{кв}}^{\text{в}}(a_{\text{гнз}}^{\text{в}}, r)$ 

$a_{\text{гнз}}^{\text{в}}$	$r$					
	0	0,5	1	2	3	4
0,01	11,17	10,788	9,712	8,286	7,452	6,86
0,02	9,902	9,362	8,286	6,86	6,026	5,434
0,03	9,16	8,928	7,452	6,026	5,192	4,6
0,1	6,959	6,052	4,975	3,549	2,715	2,123
0,2	5,692	4,626	3,549	2,123	1,288	0,695
0,4	4,424	3,2	2,123	0,785	0,608	0,391
1	2,748	1,453	0,749	0,252	0,077	0,025
2	0,935	0,65	0,289	0,031	0,003	0
3	0,618	0,394	0,126	0,005	0	0
4	0,378	0,245	0,065	0	0	0

где  $A_{0,1}^{\text{в}} = -2$ ;  $A_2^{\text{в}} = \frac{B_2^{\text{в}}}{A^{\text{в}} a_1}$ ;  $A_{0,1}^{\text{б}} = \frac{2A^{\text{б}} B_1^{\text{б}}}{B_2^{\text{б}}}$ ;  $A_2^{\text{б}} = -2$ . (6)

Значения функции  $R_{\text{кв}, \text{в}, \text{пз}}^{\text{в}}$  приведены в табл. 1 — 4.

Значения  $\Delta S_{\text{кв}}^{\text{в}}$  в (1) можно определить по следующим зависимостям [2].

При откачке воды из двух горизонтов:

$$\Delta S_{\text{кв}}^{(1)} = \frac{Q_j}{4\pi T} R_{\text{кв}} - \frac{T_2}{T} \left( \Delta H - \frac{\delta_1}{d_1} \right); \quad (7)$$

$$\Delta S_{\text{кв}}^{(2)} = \frac{Q_j}{4\pi T} + \frac{T_1}{T} \left( \Delta H - \frac{\delta_1}{d_1} \right).$$

При откачке из нижнего и верхнего горизонтов имеем:

$$\Delta S_{\text{кв}}^{\text{в}} = \frac{Q_{\text{гнз}}}{4\pi T_2} R_{\text{кв}}; \quad \Delta S_{\text{кв}}^{\text{б}} = \frac{Q_{\text{гнз}}}{4\pi T_1} R_{\text{кв}}; \quad R_{\text{кв}} = 2 \ln \frac{r_p}{r_j}, \quad (8)$$

где  $r_j$  — радиус  $j$ -ой скважины;  $r_p$  — радиус некоторой условной внутренней области влияния данной скважины [2].

Предложенные расчетные формулы являются усовершенствованными методами фильтрационных расчетов обобщенных систем скважин в слоистых толщах, которые могут применяться в расчетах водопонижительных систем в сложных гидрогеологических условиях.

ԸՆԹՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՋՐՀՈՐՆԵՐԻ ՖԻԼՏՐԱՑԻՈՆ,  
ՀԱՇՎԱՐԿ ԲԱԶՄԱՇԵՐՏ ՀՈՂԱՇԵՐՏՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ս լ

Գիտարկվում է հիդրավիկական կապի մեջ գտնվող երեք անսահմանափակ հողաշերտերում տեղադրված գծային շարքի, օղակային և մակերեսային համակարգերի ընդհանրացված ջրհորների ֆիլտրացիոն հաշվարկի խնդիրը: Օգտվելով նույն հողաշերտում տեղադրված առանձին ջրհորների համար ստացված հաշվային բանաձևերից՝ ջրհորների ընդհանրացված համակարգերի համար հողաշերտերից տարբեր ուժիմներով ջրհանման դեպքերում առաջարկվում են հաշվային նոր բանաձևեր:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде.— М.: Гостолтехиздат, 1948.— 628 с.
2. Боченер Ф. М. Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водоопытных установок.— М.: Госстройиздат, 1963.— 59 с.
3. Казарян С. М. Движение подземных вод к скважине в неоднородно-слоистом пласте при откачке воды из двух напорных горизонтов.— Изв. АН АрмССР (сер. Механика), 1986, т. XXXIX, № 1, с. 52—63.
4. Казарян С. М. Движение подземных вод к скважине в неоднородно-слоистом пласте при откачке из нижнего напорного горизонта.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1984, т. XXXVII, № 6 с. 17—25.
5. Казарян С. М. Движение подземных вод к скважине в неоднородно-слоистом пласте при откачке из верхнего напорного горизонта.— В кн.: Междуц. сб. научн. тр. (сер. Механика), Ереван: изд-во ЕГУ, 1986, вып. 1, с. 77—89.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. А. МЦДЖОЯН, Э. Г. АГОЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЦЕССА  
АБРАЗИВНО-ПЛАНЕТАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Сущность абразивно-планетарной обработки заключается в том, что рабочая смесь из деталей и обрабатывающего агента (иногда с добавлением жидкого компонента) в закрытых камерах подвергается планетарному вращению. При определенных величинах и соотношении частот вращения водила и камеры под действием изменяющихся по направлению центробежных сил рабочая смесь приходит в движение и детали эффективно обрабатываются [1, 2].

С целью выбора модели для исследования производилась киносъемка процесса абразивно-планетарной обработки на стенде 9Э-70Б с вертикальными осями вращения камер и водила. При этом кинокамера была закреплена на водиле и вращалась вместе с ним, а ее объектив был направлен в камеру, заполненную шариками и водой и закрытую стеклянной крышкой.

После просмотра киноленты было установлено следующее.

1. В процессе обработки жидкий компонент образует поверхность, которая в горизонтальном сечении близка к окружности с центром  $O_1$  на оси водила  $O_1O$  (кривая I-I на рис. 1), что математически было доказано в [2].

2. Рабочая смесь в планетарно вращающейся камере не меняет своего положения относительно водила и совершает непрерывное циклическое движение. При этом поверхность рабочей смеси, которая в горизонтальном сечении также близка к окружности (кривая II-II на рис. 1) с центром в точке  $O_2$ , несколько смещена относительно поверхности жидкого компонента в сторону вращения камеры, что по-видимому является следствием наличия сил трения между рабочей смесью и стенкой камеры.

3. В центре рабочей смеси имеется неподвижный относительно водила слой  $K, K_0$ , вокруг которого перемещается движущийся слой рабочей смеси. При этом наружный слой обладает наибольшей скоростью (точка  $A$ ), которая по линии  $AB$  уменьшается до нуля в точке  $K$  и, меняя знак, увеличивается по некоторой величине в точке  $B$  (рис. 1).

Таким образом, различные слои рабочей смеси перемещаются с разными линейными скоростями, а вращение камеры вокруг собствен-

ной оси обеспечивает равномерное перемешивание и обработку деталей.

Для дальнейших выводов упростим приведенную на рис. 1 схему, принимая за прямую кривую II-II и пренебрегая смещением рабочей смеси относительно водила (рис. 2). Если точка  $O_1$  неподвижна относительно точки  $K$  и линия II-II проходит через центр вращения камеры  $O_1$  (случай, когда степень заполнения камеры  $Z = 50\%$ ), то наружный слой рабочей смеси в точке  $A$  будет перемещаться относительно водила со скоростью точки  $O_1$ . В тех случаях, когда линия II-II не проходит через центр вращения камеры ( $Z \neq 50\%$ ), к скорости точки  $O_1$  накладывается скорость вращения камеры относительно собственной оси. Линейная скорость точки  $A$  в общем случае будет:

$$V = \frac{\pi n_n}{30} R + \frac{\pi n_k}{30} O_1 A = \frac{\pi}{30} \left( n_n R + n_k r \cos \frac{\alpha}{2} \right),$$

где  $n_n$ ,  $R$  и  $n_k$  и  $r$  — частоты и радиусы вращения водила и камеры;  $\cos \frac{\alpha}{2} = (0,8125 - 1,625Z)$  — функция степени заполнения камеры.

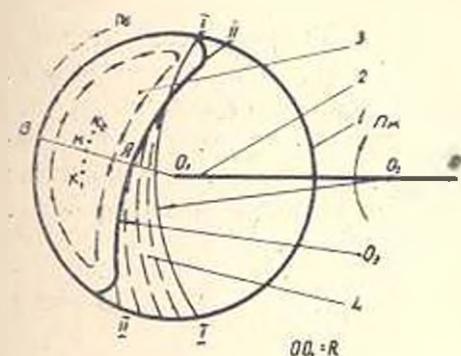


Рис. 1. Схема абразивно-планетарной обработки согласно микроинформации: 1 — камера, 2 — водило, 3 — рабочая смесь, 4 — жидкий компонент.

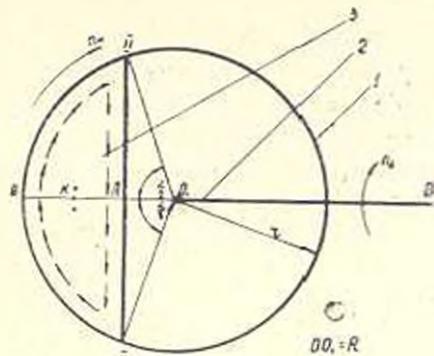


Рис. 2. Упрощенная схема абразивно-планетарной обработки: 1 — камера, 2 — водило, 3 — рабочая смесь.

Если предполагать, что линейная относительная скорость движущегося слоя от точки  $A$  до  $K$  меняется по линейному закону, тогда средняя скорость движущегося слоя выразится уравнением:

$$V_{ср} = \frac{\pi}{60} \left( n_n R + n_k r \cos \frac{\alpha}{2} \right) \text{ м/с.}$$

Скорость наружного слоя (а также средняя скорость движущегося слоя) при прочих равных условиях почти пропорционально растет от увеличения частот вращения водила и камеры  $n_n$ ,  $n_k$  и их радиусов  $R$ ,  $r$ , а увеличение степени заполнения камеры  $Z$  приводит к некоторому уменьшению скорости. При этом влияние  $n_n$  и  $R$  в 5–7 раз интенсивнее, чем остальных параметров.

Время обрачиваемости деталей  $T$ , которое равно промежутку времени между двумя прохождениями группы деталей через данное сечение рабочей смеси, определяется как отношение объема рабочей смеси в камере к объему рабочей смеси, проходящему через движущийся слой в единицу времени:

$$T = \frac{\pi r^2 Z H}{V_{\text{ср}} \frac{h}{2} H}$$

где  $H$  — высота рабочей камеры;  $h = r \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)$  — высота сегмента рабочей смеси в процессе обработки.

Подставляя значения  $V_{\text{ср}}$  и  $h$ , после некоторых преобразований получаем:

$$T = \frac{120rZ}{\left(n_n R + n_k r \cos \frac{\alpha}{2}\right) \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)} c,$$

Время обрачиваемости деталей  $T$ , характеризующее наряду с другими показателями интенсивность обработки, при прочих равных условиях уменьшается по закону обратной пропорциональности от увеличения параметров водила  $n_n$  и  $R$ , а рост  $n_k$  приводит к незначительному снижению  $T$ . С другой стороны увеличение  $r$  и  $Z$  проводят к росту  $T$  по степенному закону. При этом влияние параметров  $n_n$ ,  $R$  и  $r$  в 4—8 раз интенсивнее остальных.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лурье Г. Б., Сикотия А. П. Шлифование деталей в барабанах с планетарным вращением. — Вестник машиностроения, 1971, № 8, с. 38—40.
2. Миджоян К. А. Уравнение траектории движения рабочей смеси при абразивно-планетарной обработке. — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1979, т. XXXII, № 2, с. 23—26.

ԲՈՎԱՆԳՍԿՈՒԹՅՈՒՆ

Մ Ե Ք Ե Ն Ա Շ Ի Ն ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

Լ. Վ. Կոստյուկ, Ռ. Ս. Ղազարյան, Ս. Ս. Ավդալյան, Գ. Ս. Ավդալյան, Է. Ա. Գոմիցյան: Առանձնաթղթման գեղարվեստի իմպուլսային Լրճույթներ Վարցի մասին . . . . . 3

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԵՆԱՆԻԿԱ

Վ. Ա. Համբարձումյան, Լ. Գ. Պետրոսյան: Երկրաչափական ախտերի տարածումը շրտափոր անհամասեռ միջավայրում . . . . . 8

Ն Ց Ո Ւ Թ Ա Գ Ի Տ ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

Բ. Ա. Արեֆև, Չ. Մ. Հարությունյան: Մատրիցայի խտացման առանձնահատկությունները խաչածն հիմնականաբար թեթևագույն կոմպոզիցիոն նյութերի խտացուման ժամանակ 14

ՏԵՆԵԿԱԿԱՆ ԿՈՐԵՆՆԵՏԻԿԱ

Վ. Կ. Բրուսյան: Երկրի արհեստական մոլորակի տարածական դրոթյան կառավարումը թափանցիվների օգնությամբ . . . . . 19

Գ. Վ. Տալոյան: Մրյակտի որակի զննարկման կախվածության հետազոտումը նրա պարամետրերի շահման բնութից . . . . . 24

Ռ. Ն. Սաֆարով: Պարբերաբար յրացվող պահեստասաների օպտիմալ ներմացույցի որոշումը 29

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵՆԵԿԱ

Վ. Մ. Կուրեյնիկ, Լ. Ա. Բսլի, Ռ. Գ. Կոնոպլ, Ա. Մ. Կուրուպևայան: Վերագոսավորվող կառուցվածքով գերմեծ ինտեգրալ սինմաների նախագծման համակարգեր . . . . . 35

ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵՆԵԿԱ

Ս. Գ. Սրապյան, Ս. Մ. Գուրգարյան, Չ. Ս. Հովհաննիսյան: Համառոտագծում տարացուցիչով և շերմնողունիով շճվող կալորիմետրական ժախսաչափիչի շերմային հաշվարկը 38

Չ Ի Դ Ր Ա Վ Լ Ի Կ Ա

Ս. Մ. Ղազարյան: Ընդհանրացված համակարգի շրճարների ֆիլտրացիոն հաշվարկը բազմաշերտ հողաշերտում 43

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՒԵՐ

Կ. Ա. Սեբոյան, Է. Գ. Աբալյան: Հիդրոնոթայանետար մշակման պրոցեսի մի փանի հարցերը 48

# СОДЕРЖАНИЕ

стр.

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

- М. В. Косьян, Б. С. Гуксян, С. С. Авдалян, Г. С. Авдалян, Э. А. Гоякян.*  
К вопросу об импульсных явлениях при зубодолблении . . . . . 3

## СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- В. А. Аджарцумян, Л. Г. Петросян.* Распространение сейсмических волн в слоистой неоднородной среде . . . . . 8

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Б. А. Арефьев, Э. М. Арутюнян.* Особенности уплотнения матрицы при компактировании ВКМ с перекрестным формированием . . . . . 14

## ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

- В. К. Брутян.* Управление пространственным положением искусственного спутника земли при помощи маяков . . . . . 19
- Г. В. Ялоян.* Исследование зависимости оценки качества объекта от способов измерения его параметров . . . . . 24
- Б. Г. Сафаров.* Определение оптимального норматива периодически пополняемых запасных частей . . . . . 29

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- В. М. Курейчик, Л. А. Боян, Б. Г. Коноплев, М. А. Карапетян.* САПР и СВНС с перестраиваемой архитектурой . . . . . 33

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- С. Д. Срапян, С. М. Дургарян, Л. С. Оганисян.* Тепловой расчет калориметрического неконтактного расходомера с совмещенным нагревателем и термоприемниками . . . . . 38

## ГИДРАВЛИКА

- С. М. Казарян.* Фильтрационный расчет обобщенных систем связки в слоистых толщах . . . . . 43

## НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- К. А. Миджоян, Э. Г. Атоян.* Некоторые вопросы процесса абразивно-планетарной обработки . . . . . 48