

ISSN 0002-306X

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՄԱՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

12

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издавался с 5. 1. 1948 г.

Выходит 6 раз в год на русском языке

Խ Մ Բ Ա Գ Ը Ա Վ Ա Ն Վ Ո Ղ Ե Գ Ի Ա

- Ռ. Մ. Մառտիրոսյան (պատմաֆիլոսոփական խմբագիր), Վ. Վ. Արևմունկյան,
Ռ. Վ. Աբրահամյան, Ռ. Ա. Ղազարյան, Ս. Մ. Ղազարյան, Մ. Վ. Կապանյան,
Ա. Հ. Սահակյան, Յու. Լ. Սարգսյան, Մ. Գ. Ստեփանյան (պոետ. խմբ. տեղ.)
Զ. Կ. Ստեփանյան (պատմաֆիլոսոփական խմբագիր), Վ. Ս. Խաչատրյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Р. М. Мартиросян (ответственный редактор), В. В. Алексеевский,
Р. В. Атоян, Р. А. Казарян, С. М. Казарян, М. В. Касини,
А. О. Саакян, Ю. Л. Саркисян, М. Г. Стакки (зам. ответ. редактора),
З. К. Степанян (ответственный секретарь), В. С. Хачатрян.

УДК 621.311.061.001.24

А. А. МАРДЖАНЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПРОДОЛЖЕНИЯ

Исследование статической устойчивости электрической системы при вариации ее параметров возможно проводить с помощью метода продолжения (инвариантного погружения). При этом задача сводится к численному интегрированию некоторых обыкновенных дифференциальных уравнений. Эффективность метода значительно возрастает благодаря возможности графического представления перемещений корней характеристического уравнения на экране дисплея ЭВМ.

Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

Շարժական (անփոփոխական) մեթոդի օգնությամբ էներգիայի և հաշվարկի համակարգերի ստատիկ կայունությունը համակարգի պարամետրերի փոփոխության դեպքում: Որոշ տիպի սովորական դիֆերենցիալ հավասարումների թվային ինտեգրումով համալիր հարթության վրա որոշվում են բնութագրական հավասարման արմատների հետագծերը: Այդ հետագծերի պատկերումը էԷՄ-ի դիսպլեյի վրա զգալիորեն բարձրացնում է մեթոդի կիրառման արդյունավետությունը:

Известно, что задача исследования статической устойчивости электрической системы (ЭС) сводится к анализу расположения корней характеристического уравнения, записанного для линеаризованной системы дифференциальных уравнений малых колебаний [1]. При этом непосредственное нахождение корней характеристического уравнения и исследования статической устойчивости ЭС с помощью алгебраических критериев (Гурвица, Ляпунова-Шипара) и частотных методов (Найквиста, Михайлова) проводятся при фиксированных значениях коэффициентов характеристического уравнения. В действительности эти коэффициенты зависят от параметров и режима ЭС [1]. В реальных системах из-за неточности и неоднозначности исходных данных, действия систем автоматики и управления и неизбежно существующих флуктуаций происходят изменения значений параметров. Эта вариация приводит к перемещению корней характеристического уравнения на комплексной плоскости. Широко применяемый в электроэнергетике метод D -разбиения [1] не позволяет непосредственно изучать такое перемещение корней и тем самым в полном объеме исследовать задачу о статической устойчивости ЭС при вариации параметров.

С помощью метода продолжения (инвариантного погружения) оказывается возможным аналитическое определение перемещения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости. Идея метода впервые была предложена в работе [2] для решения уравнений линейной теории переноса излучений. Далее метод продолжения был развит в целом ряде отечественных и зарубежных работ [3—5] и

применялся для решения различных задач — таких, как граничные задачи, решение трансцендентных алгебраических уравнений, оптимизационные задачи и др.

Суть метода заключается в следующем. Исходную задачу — например, алгебраическую задачу нахождения корней характеристического уравнения погружают в параметризованное семейство задач таким образом, чтобы при определенном (например, единичном) значении параметра погружения семейство задач совпало с исходной, а при опорном (например, нулевом) значении оно обращалось в задачу, решение которой известно или может быть получено. Способ решения при этом не играет роли. Далее на основе параметризованного семейства задач составляют обыкновенные дифференциальные уравнения, называемые уравнениями Давиденко [3]. Решения этих уравнений и представляют собой кривые, по которым перемещаются корни характеристического уравнения при вариации параметра погружения, а начальные условия для решения уравнений Давиденко определяются решениями параметризованного семейства задач при опорном значении параметра погружения.

Поясним применение метода продолжения на примере исследования статической устойчивости простейшей перегуливаемой электрической системы. В качестве варьируемого параметра (параметра погружения) рассмотрим коэффициент демпфирования P_d , которого будем изменять, например, до критического значения $P_{d_{кр}}$, при котором в системе наступает экспоненциальное поведение. Критерием статической устойчивости, как известно [1], является наличие корней в правой полуплоскости. Характеристическое уравнение простейшей ЭС с критическим демпфированием имеет второй порядок

$$f(Z) = T_1 Z^2 + P_{d_{кр}} Z + a_0 = 0, \quad (1)$$

где при $0 < \delta_0 < 90^\circ$, $a_0 = \frac{E_s U}{X_d} \cos \delta_0 > 0$. Все обозначения общеприняты. В качестве опорного рассмотрим нулевое значение параметра погружения $P_d = 0$, чему соответствует отсутствие демпфирования в ЭС. Построим параметризованное семейство задач

$$H(Z, P_d) = T_1 Z^2 (P_d) + P_d Z (P_d) + a_0 = 0. \quad (2)$$

Действительно, при нулевом значении параметра семейство задач (2) «легко» решается:

$$H(Z, 0) = T_1 Z^2(0) + a_0 = 0, \quad Z_{1,2}(0) = \pm i \sqrt{a_0 / T_1},$$

а при $P_d = P_{d_{кр}}$ семейство задач (2) совпадает с исходной задачей (1). Уравнение Давиденко выводится из параметризованного семейства задач $H(Z, P_d)$ путем его дифференцирования по переменной Z и параметру P_d . Оно имеет вид

$$\frac{dZ(P_d)}{dP_d} = - \frac{\partial H / \partial P_d}{\partial H / \partial Z}. \quad (3)$$

Для конкретного семейства задач (2) уравнение Давиденко запишется в виде

$$\frac{dZ(P_d)}{dP_d} = - \frac{Z(P_d)}{2T_f Z(P_d) + P_d}, \quad Z_{1,2}(0) = \pm i \sqrt{\frac{a_0}{T_f}}. \quad (4)$$

Решение задачи Коши (3) в данном случае можно получить непосредственно в квадратурах, проводя интегрирование в соответствующих пределах

$$Z(P_d) = \frac{-P_d \pm \sqrt{P_d^2 - 4a_0 T_f}}{2T_f}.$$

Полученное выражение совпадает с известной формулой решения квадратного уравнения (1) и описывает перемещение корней характеристического уравнения (1) на комплексной плоскости при вариации коэффициента демпирования с нулевого до исследуемого значения $P_{d0} = -2T_f \sqrt{a_0}$. На рисунке показано такое перемещение корней для конкретного численного примера из [1]. В общем случае характеристическое уравнение сложной регулируемой ЭС имеет n -ый порядок

$$f(Z) = Z^n + a_{n+1} Z^{n+1} + \dots + a_1 Z + a_0 = 0. \quad (5)$$

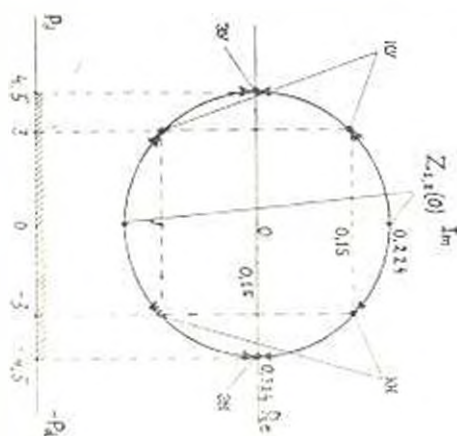


Рис. Траектории перемещения верхней характеристики уравнения (1) при вариации значений коэффициента демпирования $0 < P_d < P_{d0}$: КУ, ЗУ — колебательная и экспоненциальная устойчивость; КН, ЭН — колебательная и экспоненциальная неустойчивость; $\gamma_0 = 60^\circ$, $T_f = 10$, $E_0 = 1.2$, $X_d = 1.2$, $P_{d0} = \pm 4.47$.

Рассматривая какой-либо параметр μ , от которого зависят коэффициенты уравнения (5), определим параметризованное семейство следующим образом:

$$H(Z, \mu) = Z^n(\mu) + \mu a_{n+1}(\mu) Z^{n+1} + \dots + \mu a_0(\mu) + \mu - 1 = 0, \quad (6)$$

где при

$$\mu = 0 \quad H(Z, 0) = Z^n(\mu) - 1 = 0, \quad Z_k(0) = \exp\left(\frac{i2\pi k}{n}\right),$$

а при

$$\mu = 1 \quad H(Z, 1) = f(z), \quad k = 1, \dots, n.$$

Уравнение Давиденко для параметризованного семейства задач (6) имеет вид

$$\frac{dZ(\mu)}{d\mu} = - \frac{1 + \sum_{j=1}^{n-1} a_j Z^j}{nZ^{n-1} + \mu \sum_{j=1}^{n-1} j a_j Z^{j-1}} Z_k(0) = \exp\left(\frac{i2\pi k}{n}\right). \quad (7)$$

Для простоты, в правой части уравнения Давиденко опущена запись зависимостей от параметра. Решая задачу Коши (7), с помощью того или иного численного метода определим кривые, по которым перемещаются корни характеристического уравнения (5) при вариации параметра μ в интервале $0 \leq \mu \leq 1$.

Таким образом, задача исследования статической устойчивости сложной ЭС при вариации параметров в интересующих нас пределах сводится к численному интегрированию обыкновенных дифференциальных уравнений (7). С помощью современных средств графического представления становится возможным непосредственно наблюдать за перемещениями корней характеристического уравнения, что позволяет изучать задачу статической устойчивости в случаях ее аperiodического нарушения и возникновения самораскачивания, если только подобное поведение не исключено исходной математической моделью ЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. — М.: Высшая школа, 1985. — 536 с.
2. Имарцулиян В. А. К вопросу о диффузном отражении света мутной средой. — ДАН СССР. — 1943. — Т. 38, № 8. — С. 56—61.
3. Давиденко Д. Ф. Об одном новом методе численного решения систем нелинейных уравнений. — ДАН СССР. — 1953. — Т. 88, № 6. — С. 121—126.
4. Елсін Дм., Калита Р. Метод возмущения в прикладной математике. — М.: Мир, 1979. — 421 с.
5. Richter S. L., de Carlo P. A. Continuation methods. Trans. IEEE — 1981. — Vol. CAS-30. — P. 613—619.

Ершнн. м. К. Марков

10. XI 1988

УДК 621.311.001.24

В. М. АРАКЕЛЯН

МЕТОД И АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается задача оптимизации режимов электроэнергетических систем с применением поисковых методов. По сравнению с классическими методами здесь не требуется определять производные от целевых функций, что улучшает условия решения практических задач. Показано, что разработанного метода достаточно для алгоритма составителя Фортран-программы для решения конкретных задач.

Таб. 1. 1. Бюджетное : 6 на и

Հարգելի հայրենի Երկրպագուներ, համախոհներ, սերնդի խմբակցներ, խոր
փնտրման մեթոդի ժողովուրդ, ԽՍՀՄ-ի, Եվրոպայի, Կուսակցության անկեղծ դասական մեթոդների,
այս մեթոդը ի պահանջով ահաբեկող ֆանտիզմների անկեղծությունը որոշում, որը հե-
ռացիան է ապահովում մշակույթը Կուսակցության ՄՍՏՄՆԻ, Եվրոպայի, ԽՍՀՄ-ի և առհաս-
րակային արժեքները հանդիսանում է:

Задача оптимизации режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) продолжает оставаться актуальной, о чем свидетельствуют публикации последних лет [1—6]. Настоящая работа посвящена усовершенствованию модифицированного поискового метода Пауэлла и его применению для оптимизации режимов ЭЭС. Рассматривается решение следующей математической модели оптимизации режимов ЭЭС:

$$\min F(P) = \min \sum_{i=1}^n (1 - A_{i,m} P_m + A_{i,m} P_m^2) \quad (1)$$

$$\varphi(p) = \sum_{m=1}^r p_m, \quad p_r = \Pi, \quad 0: \quad p_{m+1} \leq p_m \leq p_{m-1+1}.$$

где C — общее число станционных узлов, в состав которых входят $P_m = (P_m, P_1, P_2, \dots, P_n)$ активные мощности тепловых электрических станций; P_0 — активная мощность базисного узла, которая считается зависимой переменной; P_m — заданная суммарная мощность нагрузочных узлов; Π — функция потерь активной мощности, определяемая, как $\Pi(P_1, P_2, \dots, P_n)$; A_{0m}, A_{1m}, A_{2m} — заданные коэффициенты аппроксимации. Целевая функция изображает сумму расходных характеристик отдельных тепловых электрических станций, зависящих от соответствующих активных мощностей. Нетрудно заметить, что в выражение целевой функции входит также расходная характеристика базисного станционного узла.

Поиск оптимального значения целевой функции начинается с выбора базового вектора активной мощности $P^0 = (P_1^0, P_2^0, P_3^0, \dots, P_n^0)$

таким образом, чтобы его компоненты оказались в области их существования. Для установления вектора активных мощностей, удовлетворяющего требуемым условиям, выбирается так называемое направляющее движение, составляющие которого $d_1^0, d_2^0, d_3^0, \dots, d_C^0$ параллельны координатным осям. В данном случае принимаем

$$d^0 = \left(\frac{1}{\sqrt{C}}, \frac{1}{\sqrt{C}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{C}} \right).$$

Введем новые переменные $P_{\alpha, m}$ ($m = 0, 1, 2, \dots, C$), определяемые на основании соотношения

$$P_{\alpha, m} = \frac{P_m - P_{m, \min}}{P_{m, \max} - P_{m, \min}}, \quad (2)$$

откуда

$$P_m = P_{\alpha, m} (P_{m, \max} - P_{m, \min}) + P_{m, \min}. \quad (3)$$

Совместное решение (1) и (3) дает

$$F(P_\alpha) = \sum_{m=0}^C (B_{0m} + B_{1m} P_{\alpha, m} + B_{2m} P_{\alpha, m}^2). \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} B_{0m} &= A_{0m} + A_{1m} P_{m, \min} + A_{2m} P_{m, \min}^2, \\ B_{1m} &= A_2 (P_{m, \max} - P_{m, \min}) (A_{1m} + A_{2m} P_{m, \min}), \\ B_{2m} &= A_{2m} (P_{m, \max} - P_{m, \min})^2. \end{aligned}$$

Можно заметить, что B_{0m} , B_{1m} и B_{2m} также являются известными числовыми коэффициентами. Путем проведения последовательных одномерных поисков, начиная с точки P_α^0 , по направлению d^0 шаг оптимизации α^0 определяется таким образом, чтобы функция

$$F(P_\alpha^0 + \alpha^0 d^0), \quad (5)$$

принимая минимальное значение, не нарушала ограничения, налагаемые на режимные параметры.

Из условия минимума (5) определяем выражение

$$\alpha_0 = - \frac{2 \sum_{m=0}^C B_{1m} P_{\alpha, m}^0 d_m^0 + \sum_{m=0}^C B_{2m} d_m^0}{2 \sum_{m=0}^C B_{2m} (d_m^0)^2}. \quad (6)$$

В результате устанавливаем необходимую точку

$$P_{\alpha, 1}^0 = (P_{\alpha, 11}^0, P_{\alpha, 12}^0, \dots, P_{\alpha, 1C}^0), \quad (7)$$

где $P_{\alpha, 1}^0 = P_\alpha^0 + \alpha^0 d^0$, т. е. величина шага α^0 , выбирается таким образом, чтобы обеспечивалось условие $F(P_{\alpha, 1}^0) < F(P_\alpha^0)$.

Затем переходим к организации первой итерации, а полученные результаты используем для перехода ко второй итерации и т. д. Не останавливаясь подробно на каждой итерации, рассмотрим лишь K -ую итерацию для n -ой координаты. При этом величины $a_{1,n}^{(K)}$ и $a_{2,n}^{(K)}$ необходимо определить таким образом, чтобы целевая функция $F(P_{w,n}^{(K)})$ принимала минимальное значение по направлению

$$d_n^{(K)} = [d_{n,1}^{(K)}, d_{n,2}^{(K)}, \dots, d_{n,C}^{(K)}], \quad (8)$$

где

$$P_{w,n}^{(K)} = P_{w,0}^{(0)} + a_{2,n}^{(K)} d_n^{(K)}.$$

Компоненты вектора направления $d_n^{(K)}$ определяются с помощью следующих выражений:

$$d_n^{(K)} = \frac{P_{w,n}^{(K-1)} - P_{w,n}^0}{A_n^{(K)}}, \quad n = 1, 2, \dots, C; \quad (9)$$

$$a_{n,n}^{(K)} = \frac{(P_{w,n}^{(K-1)} + a_{1,n}^{(K)}) - P_{w,n}^0}{A_n^{(K)}}, \quad (10)$$

где

$$A_n^{(K)} = \sqrt{(P_{w,1}^{(K-1)} - P_{w,1}^0)^2 + (P_{w,2}^{(K-1)} - P_{w,2}^0)^2 + \dots + (P_{w,n}^{(K-1)} - P_{w,n}^0)^2 + (P_{w,n}^{(K-1)} + a_{1,n}^{(K)} - P_{w,n}^0)^2 + \dots + (P_{w,C}^{(K-1)} - P_{w,C}^0)^2}.$$

Установлено, что

$$a_{1,n}^{(K)} = \alpha^0 (0,618)^{K-1}, \quad (11)$$

где α^0 определяется с помощью выражения

$$\alpha_{n,n}^{(K)} = \frac{2 \sum_{m=0}^K B_{2m} P_{w,n}^{(K)} d_{n,m}^{(K)} + \sum_{m=0}^K B_{1m} d_{n,m}^{(K)}}{2 \sum_{m=0}^K B_{1m} (d_n^{(K)})^2},$$

которое получается из условия минимума целевой функции на K -ой итерации. Разумеется, что при каждой итерации проверяется строгая обеспеченность условия

$$F(P_{w,n}^{(K-1)}) < F(P_{w,n}^{(K)}). \quad (12)$$

Процесс поиска минимального значения целевой функции считается завершенным, когда обеспечивается условие

$$|F(P_{w,n}^0 + a_{1,n}^{(K-1)} d_n^{(K-1)}) - F(P_{w,n}^0 + a_{1,n}^{(K)} d_n^{(K)})| \leq \varepsilon, \quad (13)$$

где ε — заданное положительное число и характеризует точность решения поставленной задачи.

Пример расчета. Для иллюстрации предложенного метода рассмотрим схему замещения одной электрической системы, состоящей из де-

сяти узлов, относительно которых исходная информация приведена в таблице. После замены переменных численная математическая модель принимает вид

$$\begin{aligned} \min F(P_w) = \min & [(2,7P_{w0}^2 + 94,41P_{w0} + 6,89) + (20P_{w5}^2 + 51,35P_{w5} + \\ & + 4,16) + (42,5P_{w9}^2 + 18,45P_{w9} + 3,25)] \\ & 300P_{w0} + 250(P_{w5} + P_{w9}) = 589,48, \\ 0 \leq P_{w0} \leq 1, \quad 0 \leq P_{w5} \leq 1, \quad 0 \leq P_{w9} \leq 1. \end{aligned}$$

Имеем две независимых (P_{w5}, P_{w9}) и одну зависимую переменную (P_{w0}). Результаты оптимизационного поиска, обеспечивающего решения с точностью 0,01, налагаемые на целевую функцию, приводятся в таблице. Несмотря на то, что метод является неклассическим и имеет постоковый характер, тем не менее обеспечивается хорошая сходимость при численном решении рассматриваемой задачи. Следует отметить, что аналогическое явление было обнаружено и при решении более сложных задач.

Таблица

№ итер.	Режимные параметры						Целевая функция
	P_{w0} МВт	Q_{w0} Мвар	P_{w5} МВт	Q_{w5} Мвар	P_{w9} МВт	Q_{w9} Мвар	
1	189,302	90,651	189,613	94,255	214,166	234,816	170,796
2	180,302	90,651	189,012	94,255	224,166	234,816	170,7200
3	187,238	94,164	187,575	93,539	214,616	225,808	170,6810
4	197,288	96,164	187,575	93,539	214,616	225,808	170,6802
5	192,215	96,578	185,970	92,738	221,419	225,188	170,6800
6	189,409	95,230	186,934	91,218	213,137	227,323	170,6791
7	191,177	96,119	186,319	92,912	211,984	226,091	170,6600
8	191,177	96,119	186,319	92,912	211,98	226,091	170,6600

ЛИТЕРАТУРА

1. Горинштейн В. М. и др. Методы оптимизации режимов энергосистем — М.: Энергия, 1981. — 336 с.
2. Хачагрян В. С. Метод и алгоритм оптимизации режимов больших энергосистем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1973. — № 4. — С. 21—31.
3. Хачагрян В. С. Метод расчета оптимального режима энергосистем с тепловыми станциями при учете режимных ограничений // Электричество — 1971. — № 2. — С. 10—14.
4. Хачагрян В. С., Балабекян М. А. К теории оптимизации режимов больших электроэнергетических систем // Электричество — 1980. — № 10. — С. 78—82.
5. Химмельблау Э. Н. Прикладное нелинейное программирование. — М.: Мир, 1975. — 534 с.
6. Dommel H. W., Tinney W. F. Optimal power flow solutions, IEEE Trans. on PAS. — 1968. — Vol. PAS 87, N. 10. — P. 1866—1877.

ЕрПИ им. К. Маркса

15. V. 1989

УДК 658.562

С. А. ТОВМАСЯН

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ПРИОРИТЕТНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Формулируется и на основе принципа сжимаия Беллмана-Заде решается задача приоритетного распределения между подсистемами поступающего в систему ресурса. Приводятся функции, задающие шкалу приоритетности распределения ресурса в коэффициенты предпочтения подсистем. Рассматривается пример для случая, когда система состоит из трех подсистем. Указываются возможные области применения приведенной в статье модели распределения.

Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

Չեփերագում և Բելլման-Զադերի սխեմայի միասնական սկզբունքի հիման վրա լուծվում է համակարգի մատակարարվելիք պաշարների՝ ենթահամակարգերի միջև նախապատվությամբ բաշխման խնդիրը: Բերվում են պաշարների բաշխման նախապատվության սանդղակը և ենթահամակարգերի նախընտրության դորակիցները տվող ֆունկցիաները: Դիտարկվում է օրինակ ալի դեպքի համար, երբ համակարգը բաղկացած է երեք ենթահամակարգերից: Նշվում են հոդվածում նկարագրված բաշխման մոդելի կիրառման հնարավոր բնագավառները:

Рассмотрим состоящую из подсистем C_j , $j = \overline{1, m}$ систему $C = \{C_1, \dots, C_m\}$, которая регулярно, в период времени t ($t = t_k$, $k = \overline{0, m}$) обеспечивается некоторым ресурсом R в объеме $|V(t)|$. Потребности в ресурсе системы и ее подсистем по состоянию на начало t -го периода обозначим через $U(t)$ и $U_j(t)$, $j = \overline{1, m}$, при этом $U_j(t) = \sum_{i=1}^m U_{ji}(t)$, $0 < U_1(t) \leq \dots \leq U_m(t)$, $U_{ji}(t) \in N$, где N — множество натуральных чисел. Предположим, что поступивший в систему ресурс объема $V(t)$ между C_j , $j = \overline{1, m}$ распределяется соответственно в объемах $V_j(t)$, при этом $V(t) = 0$, $V(t) \leq U(t)$, $V(t) = \sum_{j=1}^m V_j(t)$, $V_j(t) \in N \cup \{0\}$, $j = \overline{1, m}$. На $C = \{C_1, \dots, C_m\}$ наложим условия: а) ресурс R системой не создается; б) при недопоставке ресурса ($V(t) < U(t)$) система несет потери, размеры которых возрастают с ростом объемов и сроков недопоставок; в) распределение поступившего в систему ресурса желательно производить согласно принципу абсолютного приоритета: удовлетворение потребностей подсистем осуществляется в порядке очередности и процесс заканчивается на той подсистеме, для которой очередной остаток поступившего ресурса не больше ее потребности.

Если наблюдаются регулярные недопоставки, то распределение ресурса по принципу абсолютного приоритета приведет к постоянному увеличению размеров потерь системы и, следовательно, возникает за-

задача нахождения такого распределения, осуществление которого с одной стороны в возможно максимальной степени обеспечит выполнение условия b , а с другой — уменьшит (замедлит) рост потерь системы. Иными словами ставится задача распределения в условиях неопределенности — нечетко поставленной цели при нечетком ограничении [2].

Утверждение [1]. Разбиения числа $n \in N$ на m частей возможно получить (описать) алгоритмом Гинденбурга, при этом необходимо начать с разбиения $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = (1, 2, \dots, n - m + 1)$.

Определение. Полуразбиением числа $n \in N$ на m частей называется всякая последовательность чисел $\gamma_1, \dots, \gamma_m$, для которой $\sum_{j=1}^m \gamma_j = n$, где $\gamma_j \in N \cup \{0\}$, $j = \overline{1, m}$.

Полуразбиение $(W_1, \dots, W_m)$ числа n называется невозрастающим, если $W_1 \geq \dots \geq W_m$ ($W_1 \leq \dots \leq W_m$).

Поставленный в систему ресурс R объема $V(t)$ между подсистемами C_j , $j = \overline{1, m}$, распределен по принципу относительного приоритета, если: 1. $V(t) = \sum_{j=1}^m V_j(t)$. 2. $V_1(t) \geq \dots \geq V_m(t)$. 3. $V_j(t) \leq U_j(t)$, $j = \overline{1, m}$.

Утверждение. Для того, чтобы поступивший в систему ресурс возможно было распределить по принципу относительного приоритета, необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие $V(t) m \leq U_1(t)$.

Распределение $V(t)$ по подсистемам C_j , $j = \overline{1, m}$ системы S будем обозначать через $(V_1(t), \dots, V_m(t))$. Множество всех возможных распределений $V(t)$, осуществленных по принципу относительного приоритета, обозначим через

$$S(V(t)) = \left\{ (V_1(t), \dots, V_m(t)) \mid V_1(t) \geq \dots \geq V_m(t), V_j(t) \leq U_j(t), \right. \\ \left. j = \overline{1, m}, \sum_{j=1}^m V_j(t) = V(t) \right\}.$$

Утверждение. Пусть в систему $S = \{C_1, \dots, C_m\}$, потребности подсистем которой в ресурсе R равны $U_j(t)$, $j = \overline{1, m}$, причем, $0 < U_1(t) \leq \dots \leq U_m(t)$, в период t поставлен ресурс в объеме $V(t)$, не превышающем $U_1(t) m$. Тогда множество $S(V(t))$ может быть описано (получено) алгоритмом Гинденбурга и

$$S_m V(t) = \sum_{i=1}^m P_i(V(t)).$$

где $S_m(V(t)) = |S(V(t))|$, $P_i(V(t))$ — число невозрастающих полуразбиений $V(t)$ на i частей, первая часть в которых не превосходит $U_1(t)$.

На множестве $S(V(t))$ определим функцию $\mu_i(V_1(t), \dots, V_m(t)) = \sum_{j=1}^m V_j(t) \cdot V(t)^{i-1}$. Приведем свойства функции $\mu_i(V_1(t), \dots, V_m(t))$:

1. Отображение $\mu_j: S(V(t)) \rightarrow (0, 1]$ однозначное. 2. Для любой пары $(V_1(t), \dots, V_m(t)), (W_1(t), \dots, W_m(t)) \in S(V(t))$, если $V_k(t) > W_k(t)$ при некотором k , $1 \leq k \leq m-1$, то $\mu_j(V_1(t), \dots, V_m(t)) > \mu_j(W_1(t), \dots, W_m(t))$. 3. $\mu_j(V(t), 0, \dots, 0) = 1$. На $S(V(t))$ функцией μ_j задается шкала приоритетности распределений, посредством которой на $S(V(t))$, как на универсальном множестве определим нечеткое множество S альтернатив распределений $V(t)$ по подсистемам C_j , $j = \overline{1, m}$ системы C : $S = \{(V_1(t), \dots, V_m(t)), \mu_j(V_1(t), \dots, V_m(t))\}$. Значение $\mu_j(V_1(t), \dots, V_m(t))$ будем интерпретировать как степень удовлетворения $(V_1(t), \dots, V_m(t))$ принципу относительного приоритета.

Пусть в периоды $t_0, t_1, \dots, t_k$ в систему (подсистему) недопоставлено $\alpha(t_i)$, $i = \overline{0, k}$ единиц ресурса. Под сроками недопоставок будем подразумевать число периодов, прошедших с момента недопоставки, и считать, что сроки недопоставок $\alpha(t_i)$, $i = \overline{0, k}$ единиц соответственно равны $k, k-1, \dots, 1$ периодам.

Определение. Средним сроком недопоставки единицы ресурса в систему называется величина

$$(tT) = \begin{cases} \frac{\alpha_1(t) + \dots + k\alpha_k(t)}{\sum_{j=1}^k \alpha_j(t)}, & \text{если } \sum_{j=1}^k \alpha_j(t) \neq 0, \\ 0, & \text{если } \sum_{j=1}^k \alpha_j(t) = 0, \end{cases}$$

где $\alpha_j(t)$ — объем недопоставленного ресурса со сроками недопоставки j периодов ($j = \overline{1, k}$). Через $T_j(t)$ обозначим среднее время недопоставки единицы ресурса в подсистему C_j , $j = \overline{1, m}$. Пусть

$$S_j(t) = \frac{T_j(t) \left(\frac{U_j(t)}{U(t)} \right)^2}{\left(1 + \frac{U_j(t)}{U(t)} T_j(t) \right)}, \quad j = \overline{1, m}$$

$$\text{и } \mu_j(t, T_1(t), \dots, T_m(t), U_1(t), \dots, U_m(t)) = \mu_j(t) = \frac{S_j(t)}{\sum_{k=1}^m S_k(t)}.$$

Приведем свойства $\mu_j(t)$, $j = \overline{1, m}$: 1. $\mu_j(t) \geq 0$, $\sum_{j=1}^m \mu_j(t) = 1$.

2. $\lim_{\substack{T_j(t) \rightarrow \infty \\ \dots \\ T_m(t) \rightarrow \infty}} \mu_j(t) = \frac{U_j(t)}{U(t)}$. 3. Функции $\mu_j(t)$ по $T_j(t)$ и $U_j(t)$ являются возрастающими.

Далее на $S(V(t))$ рассмотрим функцию $\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t)) = \sum_{j=1}^m \mu_j(t) V_j(t)$. Из свойства $\mu_j(t)$ следует, что она является функцией-индикатором предоставления подсистемам C_j , $j = \overline{1, m}$, ресурса в объемах $V_j(t)$ в том смысле, что если $\mu_{j_0}(t) = \max_{1 \leq j \leq m} \{\mu_j(t)\}$ и $V_{j_0}^0(t)$ равно максимальному значению j_0 -ой координаты всех элементов $S(V(t))$, то $\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t))$ достигает своего максимума на том элементе, в котором j_0 -ая координата равна $V_{j_0}^0(t)$. Таким образом, достижение функцией $\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t))$ своего максимального значения на некотором $(V_1(t), \dots, V_m(t)) \in S(V(t))$ указывает на то распределение, при котором подсистеме C_{j_0} предоставляется ресурс в возможно максимальном объеме.

Определение. Функции $\mu_j(t)$, $j = \overline{1, m}$ называются коэффициентами предпочтения соответствующих подсистем C_j , $j = \overline{1, m}$.

Пусть теперь $\Psi_0 = \max_{(V_1(t), \dots, V_m(t)) \in S(V(t))} \Psi(V_1(t), \dots, V_m(t))$. Очевидно, что $\Psi_0 > 0$. Посредством функции $\mu_\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t)) = \Psi(V_1(t), \dots, V_m(t)) / \Psi_0$, определенной из $S(V(t))$ и отображающей $S(V(t))$ в $(0, 1]$, на $S(V(t))$, как на универсальном множестве определим нечеткое множество $\Psi = \{(V_1(t), \dots, V_m(t)), \mu_\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t))\}$. Значение $\mu_\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t))$ будем интерпретировать как степень достижения функцией $\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t))$ своего максимального значения.

Задача. Пусть в систему $C = \{C_1, \dots, C_m\}$ поставлен ресурс R в объеме $V(t)$, причем, выполняются условия, приведенные в начале данной работы. Необходимо определить такое распределение $(V_1^0(t), \dots, V_m^0(t))$ ресурса, чтобы на нем одновременно выполнялись: а) достижение в возможно максимальной степени удовлетворения принципа абсолютного приоритета; б) достижение в возможно максимальной степени максимума функции $\Psi(V_1(t), \dots, V_m(t))$.

Определение [2]. Степенью удовлетворения $\{(V_1(t), \dots, V_m(t))$ решению задачи называется значение функции

$$\mu(V_1(t), \dots, V_m(t)) = \min_{(V_1(t), \dots, V_m(t)) \in S(V(t))} [\mu_2(V_1(t), \dots, V_m(t)), \mu_1(V_1(t), \dots, V_m(t))].$$

Решение [2]. Решением задачи будет распределение $(V_1^0(t), \dots, V_m^0(t))$ из $S(V(t))$, на котором функция $\mu(V_1(t), \dots, V_m(t))$ достигает своего максимального значения μ_0 .

Пример. Пусть $C = \{C_1, C_2, C_3\}$ к началу периода $t = 5$ система характеризуется данными, приведенными в табл. 1 и 2. Предположим, что в систему в 5-ый период поставлен ресурс R в объеме $V = 12$ единиц. Необходимо найти распределение 12 единиц ресурса по подсистемам C_1 , C_2 и C_3 , удовлетворяющее задаче.

Таблица 1

Случай I

Сроки недопоставки (периоды)	Кол-во недопоставленных единиц			
	C_1	C_2	C_3	C
1	6	6	3	15
2	4	2	1	7
3	0	4	6	10
4	0	0	8	8
Потр. всего	10	12	18	40

Таблица 2

Случай II

Сроки недопоставки (периоды)	Кол-во недопоставленных единиц			
	C_1	C_2	C_3	C
1	5	5	5	15
2	4	2	1	7
3	1	7	2	10
4	0	0	8	8
Потр. всего	10	14	16	40

Производя соответствующие вычисления, имеем:

С л у ч а й I^а

$$p_0 = p(8, 2, 2) = 0,632. (V_1^1, V_2^0, V_3^0) = (8, 2, 2), \quad \alpha = 0,600.$$

$$A = \{(8, 2, 2), 0,632\}; \{(8, 3, 1), 0,638\}; \{(7, 4, 1), 0,617\}; \\ \{(9, 2, 1), 0,614\}; \{(7, 3, 2), 0,611\}.$$

С л у ч а й II

$$p_0 = p(8, 3, 1) = 0,689. (V_1^0, V_2^0, V_3^0) = (8, 3, 1), \quad \alpha = 0,620.$$

$$A = \{(8, 3, 1), 0,689\}; \{(8, 2, 2), 0,682\}; \{(8, 4, 0), 0,674\}; \\ \{(9, 2, 1), 0,664\}; \{(7, 5, 0), 0,629\}.$$

Решения, предлагаемые моделью, в случаях I и II различны и при увеличении потребности подсистемы, ей моделью выделяется больше ресурса, чем было выделено ранее и наоборот. Эти факты указывают на большую чувствительность модели при изменении потребностей подсистем. Во множествах A для случаев I и II предлагаемые моделью альтернативы распределений $(8, 2, 2)$ и $(8, 3, 1)$ в порядке убывания $p(V_1^0, V_2^0, V_3^0)$ меняются местами, а четвертой альтернативой предлагается распределение $(9, 2, 1)$. Это указывает на достаточную устойчивость модели относительно объемов ресурса в подсистемах и общей потребности системы в целом.

Приведем возможные области применения модели: а) производство скоропортящихся продуктов, когда ресурс используется в завершающей операции; б) производство товаров, когда ресурс используется в конечной операции, а хранение незавершенной продукции связано с большими затратами; в) обеспечение орошаемой водой сельскохозяйственных площадей при нехватке воды; г) распределение жилой площади при недостаточном объеме строительства; д) обеспечение транспортом при вывозе урожая во время уборки и др.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Эндрикс Г. Теория разблуживаний.— М.: Наука, 1982.— 256 с.
2. Аверкин А. Н. и др. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта.— М.: Наука, 1986.— 312 с.

УДК 621.373

В. Л. ГАБРИЕЛЯН, А. В. СИНЯВСКИЙ

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КООРДИНАТ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ

На базе трех пространственно разнесенных фотоприемников представлены несколько методик определения координат световых пятен.

Библиогр.: 3 назв.

Նրեր ֆոտոդիտման համակարգի օգնությամբ դիտարկվում է մի քանի մեթոդ լուսալուծի բծի կոորդինատների որոշման համար:

В некоторых оптических задачах требуется определить координаты светового пятна в фокальной плоскости приемной линзы. Известны методики, где координаты пятна связаны с измеряемыми параметрами простыми выражениями, что существенно упрощает обработку результатов измерений. С развитием ЭВМ обработка существенно облегчилась и расчеты возможно производить в реальном масштабе времени [1—3].

Цель работы — показать несколько возможностей определения координат светового пятна с помощью устройств на трех идентичных фотоприемниках. Пусть три фотоприемника Φ_a , Φ_b , Φ_c с широкой диаграммой направленности находятся в фиксированных точках $A(x_1; y_1)$, $B(0; 0)$, $C(x_0; 0)$ в плоскости XV , а $D(x; y)$ — светящаяся точка в той же плоскости. При изотропном рассеянии точкой D оптическая энергия равномерно рассеивается во всех направлениях. В фотоприемниках при пренебрежении поглощением в среде будут зарегистрированы фото

$$I_a \sim \frac{1}{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}, \quad I_b \sim \frac{1}{x^2 + y^2}, \quad I_c \sim \frac{1}{(x - x_0)^2 + y^2}.$$

Отношения разности фототоков $(I_b - I_a)$, $(I_b - I_c)$ к токам I_a и I_c можно записать в виде

$$\frac{I_b - I_a}{I_a} = \frac{x_1^2 - 2x_1x + y^2 - 2y_1y}{x^2 + y^2} = K_1, \quad \frac{I_b - I_c}{I_c} = \frac{x_0^2 - 2xx_0}{x^2 + y^2} = K_2.$$

Уравнение, полученное почленным делением уравнений системы, совместно со вторым уравнением системы дает

$$x = \frac{m \pm \sqrt{m^2 + pn}}{p}, \quad y = \frac{x_1^2 + y_1^2 - 2x_1x}{2y_1} - \frac{K_1}{K_2} \frac{x_0^2 - 2x_0x}{2y_1},$$

где параметры m , n , p равны

$$m = 2K_2 \left(x_1 - \frac{K_1}{K_2} x_0 \right) \left(x_1^2 + y_1^2 - \frac{K_1}{K_2} x_0^2 \right) + 4x_0y_1^2,$$

$$\rho = 4K_2 \left[y_1^2 + \left(x_1 - \frac{K_1}{K_2} x_0 \right)^2 \right],$$

$$n = 4x_0^2 y_1^2 - K_2 \left(x_1^2 + y_1^2 - \frac{K_1}{K_2} x_0^2 \right)^2.$$

В частном случае при расположении фотоприемников на прямой в точках $A(-x_1; 0)$, $B(0; 0)$, $C(x_0; 0)$ выражения, определяющие координаты точки D , упрощаются

$$x = \frac{1}{2} \frac{x_0^2 K_1 - x_1^2 K_2}{x_0 K_1 + x_1 K_2}, \quad y = \sqrt{\frac{x_1^2 + 2x_1 x}{K_1} - x^2}.$$

Наиболее простые выражения получаются, если фотоприемник Φ_b расположен посередине между Φ_a и Φ_c (линейка фотоприемников):

$$x = \frac{x_0}{2} \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2}, \quad y = \sqrt{\frac{x_0^2 + 2x_0 x}{K_1} - x^2}.$$

На практике чаще встречаются фотоприемники с фототоком, пропорциональным косинусу угла падения на чувствительную поверхность излучения. Для этого случая при расположении фотоприемников на прямой получаются следующие выражения для D :

$$x = \frac{x_0^2 (K_1^{2/3} - 1) - x_1^2 (K_2^{2/3} - 1)}{2[x_0 (K_1^{2/3} - 1) + x_1 (K_2^{2/3} - 1)]}, \quad y = \sqrt{\frac{x_1^2 - 2x_1 x}{K_1^{2/3} - 1} - \frac{x^2}{4}},$$

где $K_1 = I_b/I_a$, $K_2 = I_b/I_c$.

Практически расстояние между фотоприемниками следует устанавливать из следующих соображений. Если требуемая точность измерения координат, например, 10 мм, а точность измерения отношений $\frac{I_a - I_b}{I_a} \sim \frac{I_b - I_c}{I_c} \sim \frac{2\Delta r}{r} \sim 0,1\%$, тогда расстояние от точки D до фотоприемников ~ 2 см, а значит фотоприемники должны быть разнесены примерно на то же расстояние.

Координаты вспышкающей (импульсный источник) точки можно определить и по временной задержке. Пусть три быстродействующих фотоприемника расположены в тех же точках и в некоторый момент произошла оптическая вспышка. Задержки во времени регистрации вспышки фотоприемниками Φ_a и Φ_c относительно времени регистрации вспышки фотоприемником Φ_b обозначим Δt_1 и Δt_2 , которые могут принимать как положительные, так и отрицательные значения (предполагается, что соответствующей калибровкой учтены времена распространения электрического сигнала от каждого фотоприемника до устройства, сравнивающего времена прихода переднего фронта оптического импульса). Пусть фронт оптического импульса и время реакций фото-



приемников существенно меньше времен Δt_1 и Δt_2 . Тогда в декартовой системе координат условие задержек регистрации запишется в виде системы уравнений

$$\sqrt{(x+x_1)^2 + (y-y_1)^2} = \sqrt{x^2 + y^2} + c\Delta t_1,$$

$$\sqrt{(x-x_0)^2 + y^2} = \sqrt{x^2 + y^2} + c\Delta t_2,$$

где c —скорость света в среде распространения. Решение системы имеет вид

$$x = \frac{m \pm \sqrt{m^2 + pn}}{p}, \quad y = Ax + B,$$

где

$$A = (c\Delta t_1 x_0 - c\Delta t_2 x_1) / c\Delta t_2 y_1,$$

$$B = (c\Delta t_2 x_1^2 + c\Delta t_1 y_1^2 - c\Delta t_1 x_0^2 - c^2 \Delta t_1^2 \Delta t_2 + c^2 \Delta t_1 \Delta t_1^2) / 2c\Delta t_2 y_1,$$

$$m = 2x_0^3 - 2c^2 \Delta t_2^2 x_0 + 4ABc^2 \Delta t_2^2, \quad n = 2c^2 \Delta t_2^2 x_0^2 + 4c^2 \Delta t_2^2 B^2 - x_0^4 - c^4 \Delta t_2^4,$$

$$p = 4x_0^3 - 4c^2 \Delta t_2^2 A^2 - 4c^2 \Delta t_2^2.$$

Частный случай расположения фотоприемников на прямой дает

$$x = \frac{c\Delta t_1 (x_0^2 - c^2 \Delta t_2^2) - c\Delta t_2 (x^2 - c^2 \Delta t_1^2)}{2c(\Delta t_1 x_0 + \Delta t_2 x_1)},$$

$$y = \sqrt{\frac{[x_0^2 (x_0^2 - c^2 \Delta t_1^2) + x_1 (x_0^2 - c^2 \Delta t_2^2)]^2}{4c^2 (x_0 \Delta t_1 + x_1 \Delta t_2)^2}} - x^2.$$

В случае линейки фотоприемников получим

$$x = \frac{(\Delta t_1 - \Delta t_2) (x_0^2 - c^2 \Delta t_1 \Delta t_2)}{2x_0 (\Delta t_1 - \Delta t_2)}, \quad y = \sqrt{\frac{(2x_0^2 - c^2 \Delta t_1^2 - c^2 \Delta t_2^2)^2}{4c^2 (\Delta t_1 + \Delta t_2)^2}} - x^2.$$

Исходя из достижимых значений быстродействия фотодетекторов ~ 1 нс, можно оценить расстояние между фотоприемниками. Если регистрируемые задержки принять порядка (10—100) нс, что соответствует разности пути (3—30) м в атмосфере, то для подобных измерений фотоприемники должны быть разнесены на (10—100) м.

Если положение светящейся точки «гуляет» вдоль прямой, то удобнее всего для обоих случаев (по отношениям фототоков и по задержке) применять линейку фотоприемников и ее расположить параллельно вышеуказанной прямой.

Решение D для обоих общих случаев будет единственным при D лежащем в центре описанной окружности треугольника, вершинами которого служат фотоприемники. В остальных случаях D имеет два решения: одно значение D лежит внутри вышеуказанного треугольника, другое — вне этого треугольника.

Предварительные данные о приблизительном местоположении точки D позволят из двух значений выбрать нужное. Если приблизительное местоположение D неизвестно, в плоскости XV можно добавить четвертый фотоприемник Φ_c и получить по два значения координат точки D для двух произвольных троек фотоприемников (например, Φ_a, Φ_b, Φ_c и Φ_a, Φ_b, Φ_e). Общее значение D в двух сочетаниях фотоприемников будет истинным положением точки D . В случае расположения фотоприемников на прямой также две точки удовлетворяют системам. Они симметричны относительно вышеуказанной прямой и поэтому нетрудно выбрать истинное значение точки D .

ЛИТЕРАТУРА

1. Молебный В. В. Оптико-локационные системы.— М.: Машиностроение, 1973.— 183 с.
2. Катис Г. П. Оптико-электронная обработка информации.— М.: Машиностроение, 1973.— 447 с.
3. Ефимов М. В. Следящие системы с оптическими связями.— М.: Энергия, 1969.— 184 с.

ИФИ АН АрмССР

25. I. 1989

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 3, 1990, с. 117—120.

ГИДРАВЛИКА

УДК 532.546

С. Дж. ХАЛАТЯН, Р. С. ИСАХАНИЯ

РЕШЕНИЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ С УЧЕТОМ ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Рассматривается решение осесимметричной задачи фильтрации с учетом изменений соотношений между фазами грунта в процессе уплотнения. Приводится аналитическое решение данной задачи, где уплотнение происходит под действием равномерно распределенной возрастающей нагрузки, зависящей от времени.

Ил. 1. Библиогр.: 1 назв.

Դիտված է ծծանցման անսեղմահամաչափ խնդրի լուծումը՝ հաշվի առնելով պնդացման ընթացքում րնահողի փուլերի միջև հարաբերության փոփոխությանը: Բերված է խնդրի վերլուծական լուծումը, որտեղ պնդացումը ընթանում է հավասարապես բաշխված աճող բեռնվածքի ազդեցության տակ, որը կախված է ժամանակից:

В настоящее время известны решения осесимметричных задач фильтрации, где учитывается, что объемная сила собственного веса водонасыщенного грунта принимается постоянной на весь период консолидации. Основное уравнение осесимметричной задачи фильтрации с учетом ползучести скелета и изменения соотношений между фазами грунта в процессе уплотнения получены в [1].

Настоящая работа посвящена решению осесимметричной задачи фильтрационной консолидации, где предполагается, что уплотнение грунта происходит под действием равномерно распределенной нагрузки $q=q(t)$, зависящей от времени по заданному закону (рис.).

Уравнение осесимметричной задачи фильтрации без ползучести скелета имеет вид

$$\frac{\partial H}{\partial t} = (\alpha_1 + \alpha_2 z) \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} + \alpha_1 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial H}{\partial r} \right) = f(t), \quad (1)$$

где

$$\alpha_1 = \frac{(1 + \varepsilon_{cp})k}{\gamma_w a}, \quad \alpha_2 = \frac{(\gamma_w - \gamma_{ск})k}{\gamma_w (1 + \varepsilon_{cp})}, \quad f(t) = \frac{1}{\gamma_w} \frac{dq}{dt}.$$

$H = H(r, z, t)$ — искомый напор, ε_{cp} — осредненный коэффициент пористости грунта, a — коэффициент уплотнения грунта, γ_w — объемный вес воды, $\gamma_{ск}$ — удельный вес скелета грунта, k — коэффициент фильтрации.

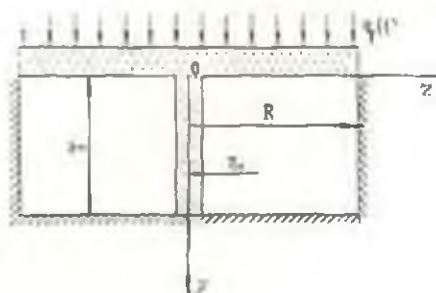


Рис.

Рассмотрим решение уравнения (1) при следующем начальном и граничных условиях:

$$H_{t=0} = \frac{q(0)}{\gamma_w} = H_0;$$

$$H_{z \rightarrow \infty} = 0, \quad \left. \frac{\partial H}{\partial z} \right|_{z=\tau} = 0; \quad H_{r=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial H}{\partial r} \right|_{r=R} = 0.$$

Будем искать решение этой задачи в виде суммы

$$H = H_1 + H_2,$$

где H_1 — решение однородного уравнения

$$\frac{\partial H_1}{\partial t} = (\alpha_1 + \alpha_2 z) \frac{\partial^2 H_1}{\partial z^2} + \alpha_1 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial H_1}{\partial r} \right), \quad (2)$$

удовлетворяющего граничным условиям

$$H_1|_{z=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial H_1}{\partial z} \right|_{z=\tau} = 0, \quad H_1|_{r=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial H_1}{\partial r} \right|_{r=R} = 0$$

и начальному условию

$$H_1|_{t=0} = \frac{q(0)}{z_0},$$

а H_2 —решение неоднородного уравнения

$$\frac{\partial H_2}{\partial t} = (z_1 + z_2 z) \frac{\partial^2 H_2}{\partial z^2} + z_1 \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial H_2}{\partial r} \right) + f(t), \quad (3)$$

удовлетворяющего граничным условиям

$$H_2|_{z=0} = 0, \quad \frac{\partial H_2}{\partial z} \Big|_{z=r} = 0, \quad H_2|_{r=R} = 0, \quad \frac{\partial H_2}{\partial r} \Big|_{r=R} = 0 \quad (4)$$

и начальному условию

$$H_2|_{t=0} = 0. \quad (5)$$

Приняв $z_1 + z_2 z = v$ и применяя к уравнению (2) метод Фурье, получаем его решение в виде

$$H_1(r, z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{nm} \exp(-\alpha_n \omega_{nm}^2 t) R_n(r) \sqrt{z_1 + z_2 z} \times \\ \times F_1 \left(\frac{2u_m}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1 + z_2 z} \right),$$

где

$$F_1 \left(\frac{2u_m}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1 + z_2 z} \right) = J_1 \left(\frac{2u_m}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1 + z_2 z} \right) Y_1 \left(\frac{2u_m}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1} \right) - \\ - J_1 \left(\frac{2u_m}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1} \right) Y_1 \left(\frac{2u_m}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1 + z_2 z} \right).$$

$\omega_{nm}^2 = v_n^2 + u_m^2$, $\bar{z}_1 = \frac{z_1^2}{z_2}$, v_n — корни характеристического уравнения

$$J_0(v r_0) Y_1(v R) - Y_0(v r_0) J_1(v R) = 0,$$

а u_m — корни характеристического уравнения

$$J_0 \left(\frac{2u}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1 + z_2 z} \right) Y_1 \left(\frac{2u}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1} \right) - \\ - J_1 \left(\frac{2u}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1} \right) Y_0 \left(\frac{2u}{V \frac{z_1}{z_2}} \sqrt{z_1 + z_2 z} \right) = 0,$$

$$A_{nm} = \frac{\bar{z}_1 H_0}{v_m^2 V \frac{z_1}{z_2}} \cdot \frac{J_0'(v_n r_0)}{J_0'(v_n r_0) - J_0'(v_n R)} \cdot \frac{1}{\Phi_1(u_m)},$$

$$\begin{aligned} \Phi_1(\mu_m) = & \sqrt{a_1 + a_2 T} F_1 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{a_1 + a_2 T} \right) \times \\ & \times \left[\sqrt{a_1 + a_2 T} F_1 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{a_1 + a_2 T} \right) - \sqrt{a_1} \Phi_0(\mu_m) \right], \\ \Phi_0(\mu_m) = & J_0 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{a_1 + a_2 T} \right) Y_0 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{a_1} \right) - \\ & - J_0 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{a_1} \right) Y_0 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{a_1 + a_2 T} \right). \end{aligned}$$

Принимая $a_1 + a_2 z = v$, будем искать решение задачи (3)–(5) в виде

$$H_2 = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} T_{nm}(t) R_n(r_n) \sqrt{v} F_1 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{v} \right).$$

Решение задачи (3)–(5) будет

$$\begin{aligned} H_2(r, z, t) = & \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \left[\int_0^t \exp[-a_1 \omega_{nm}^2 (t-\tau)] f_{nm}(\tau) d\tau \right] \times \\ & \times R_n(r) \sqrt{a_1 + a_2 z} F_1 \left(\frac{2\mu_m}{\sqrt{a_1}} \sqrt{a_1 + a_2 z} \right), \end{aligned}$$

где

$$f_{nm}(\tau) = \frac{\bar{a}_1 f(\tau) J_0^2(\gamma_n r_0)}{\mu_m^2 \sqrt{a_1} [J_0^2(\gamma_n r_0) - J_0^2(\gamma_n R)] \Phi_1(\mu_m)}.$$

Осесимметричная задача консолидации имеет большое практическое значение при строительстве транспортных дорог, аэродромных покрытий и применяется для ускорения консолидации грунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халатчи С. Дж. Осесимметричная задача теории фильтрации в неоднородных деформируемых грунтах с учетом влияния защемленного газа и линейной ползучести скелета грунта // Инженерные проблемы строительной механики: МТСНТ по строительству и архитектуре — Ереван: ЕрИИ, 1987. — С. 115–122.

ЕрИИ им. К. Маркса

1. IX. 1993

УДК 532.547.3

А. А. САРУХАНИЯ

РАЗВИТИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
НА ВХОДНОМ УЧАСТКЕ КРУГЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

Исследование течения вязкой жидкости в указанных условиях основывается на некоторых предположениях о характере течения. При такой постановке задачи полученные решения дают точные результаты только в некоторых диапазонах параметров движения. Предлагается метод решения задачи для произвольного осесимметричного профиля скоростей в начале входного участка круглой цилиндрической трубы. Полученные решения уравнения Навье—Стокса, приближенные по методу С. М. Фарра, дают достаточно хорошее совпадение с данными экспериментов по всей длине входного участка.

Библиогр. 3 назв.

Вязкое течение жидкостей и газов в трубах является одной из основных задач гидродинамики. В настоящее время для решения этой задачи используются различные методы. В большинстве случаев эти методы основаны на предположении о характере течения. При такой постановке задачи полученные решения дают точные результаты только в некоторых диапазонах параметров движения. Предлагается метод решения задачи для произвольного осесимметричного профиля скоростей в начале входного участка круглой цилиндрической трубы. Полученные решения уравнения Навье—Стокса, приближенные по методу С. М. Фарра, дают достаточно хорошее совпадение с данными экспериментов по всей длине входного участка.

При построении каждого из приближенных методов расчета течения в начальном участке [1—3] приходится производить некоторые предположения о характере течения, поэтому решения, полученные по этим методам, дают точные результаты в определенных диапазонах параметров движения. В работе [1] излагается метод решения задачи о развитии течения в круглой трубе, основанный на использовании приближенных уравнений движения вязкой жидкости, в которых принимается частичный учет их членов. Однако, ход решения задачи и результаты получаются громоздкими.

Ниже предлагается другой метод, который по существу не меняет постановку задачи, но приводит к сравнительно простому решению. Пусть в круглой неограниченной в одном направлении трубе радиуса R происходит ламинарное стационарное течение вязкой жидкости, причем, жидкость имеет во входном сечении $z = 0$ некоторый, наперед заданный, произвольный осесимметричный профиль скоростей $U = u(r)$. Совместим с центром входного сечения начало осей цилиндрических координат и направим ось OZ вдоль оси трубы в сторону течения. Упрощенные уравнения такого осесимметричного движения имеют вид [1]

$$U \frac{\partial v_z}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial (v_r r)}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

где U_0 — средняя скорость живого сечения

$$U_0 = \frac{2}{R^2} \int_0^R \varphi(r) r dr \quad (3)$$

со следующими начальными и граничными условиями:

$$v_z = 0, \quad v_r = 0 \quad \text{при } r = R, \quad z > 0; \quad (4)$$

$$v_z = \varphi(r) \quad \text{при } z = 0, \quad 0 \leq r \leq R; \quad (5)$$

$$v_z \rightarrow v' \quad \text{при } z \rightarrow \infty, \quad 0 \leq r \leq R. \quad (6)$$

Здесь v' — скорость стабилизированного ламинарного движения, определяемое из уравнения

$$\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial z} = \nu \left(\frac{\partial^2 v'}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v'}{\partial r} \right). \quad (7)$$

Из (7) для v' получаем известную формулу

$$v' = - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial z} \frac{R^2}{4\nu} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right). \quad (8)$$

Средняя скорость при ламинарном движении жидкости определяется по формуле $U_0 = - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial z} \frac{R^2}{8\nu}$ или $-\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{8\nu U_0}{R^2}$, следовательно

$$v' = 2U_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right). \quad (9)$$

Общее решение уравнения (1) при краевых условиях (4) — (6) найдем в виде суммы

$$v_z = U(z, r) + \psi(z, r), \quad (10)$$

где $U(z, r)$ — общее решение однородного уравнения

$$U_0 \frac{\partial U}{\partial z} = \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right), \quad (11)$$

а $\psi(z, r)$ — частное решение неоднородного уравнения (1), удовлетворяющее условию $\frac{\partial \psi(z, r)}{\partial z} = f_0(z)$.

Общее решение уравнения (11) найдем в виде

$$U(z, r) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k(z) J_0 \left(\lambda_k \frac{r}{R} \right), \quad (12)$$

где $C_k(z)$ — неизвестные коэффициенты, зависящие от z , $J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R}\right)$ — функции Бесселя первого рода нулевого порядка, λ_k — собственные числа задачи.

Подставляя (12) в (11), для определения $C_k(z)$ получаем уравнение

$$U_0 \sum_{k=0}^{\infty} C_k(z) J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R}\right) = -\nu \sum_{k=1}^{\infty} C_k(z) \frac{\lambda_k^2}{R^2} J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R}\right).$$

Отсюда, приравнявая соответствующие коэффициенты в левой и правой части, найдем

$$C_k(z) = -\frac{\lambda_k^2}{R \operatorname{Re}} C_k(z), \quad (13)$$

где $\operatorname{Re} = R U_0 / \nu$.

Решение уравнения (13) имеет вид

$$C_k(z) = C_k e^{-\frac{\lambda_k^2}{R \operatorname{Re}} z}, \quad (14)$$

где C_k — постоянный коэффициент, подлежащий определению, а общее решение задачи с учетом (10), (12) и (14) —

$$v_z = \sum_{k=1}^{\infty} C_k J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R}\right) e^{-\frac{\lambda_k^2}{R \operatorname{Re}} z} + \psi(z, r). \quad (15)$$

Для определения неизвестной функции $\psi(z, r)$ используем уравнение (2) и, принимая во внимание условия прилипания жидкости к стенкам трубки, запишем

$$\int_0^R r \frac{\partial v_z}{\partial z} dr = 0. \quad (16)$$

Подставляя в (16) значение v_z из (15), получаем

$$v'(z) = \frac{2}{R \operatorname{Re}} \sum_{k=1}^{\infty} C_k \lambda_k J_1(\lambda_k) e^{-\frac{\lambda_k^2}{R \operatorname{Re}} z},$$

откуда

$$\psi(z, r) = -2 \sum_{k=1}^{\infty} C_k \frac{J_1(\lambda_k)}{\lambda_k} e^{-\frac{\lambda_k^2}{R \operatorname{Re}} z} + C_0(r). \quad (17)$$

С учетом (17) окончательно для v_z получаем

$$v_z = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \left| J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R}\right) - \frac{2 J_1(\lambda_k)}{\lambda_k} \right| e^{-\frac{\lambda_k^2}{R \operatorname{Re}} z} + C_0(r). \quad (18)$$

Значение $C_0(r)$ определяется из второго краевого условия при $z \rightarrow \infty$ и $v_z = 2U_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$, откуда получаем

$$C_0(r) = 2U_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right),$$

т. е.

$$v_z = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \left(J_0\left(i_k \frac{r}{R}\right) - \frac{2J_1(i_k)}{i_k} \right) e^{-\frac{i_k^2}{R^2} z} + 2U_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right). \quad (19)$$

Значения собственного числа задачи определяется из граничного условия при $r=R$ из (19)

$$J_0(i_k) - \frac{2J_1(i_k)}{i_k} = 0 \quad \text{или} \quad J_1(i_k) = 0. \quad (20)$$

Следовательно, собственные числа задачи i_k являются последовательными корнями функции Бесселя первого рода второго порядка. Из краевого условия (5) и уравнения (19) имеем

$$\tau_1(r) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \left[J_0\left(i_k \frac{r}{R}\right) - \frac{2J_1(i_k)}{i_k} \right], \quad (21)$$

или

$$\tau_1(r) = \varphi(r) - 2U_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right). \quad (22)$$

Из последнего равенства видно, что постоянные числа C_k являются коэффициентами разложения функции $\varphi_1(r)$ в ряд Фурье-Бесселя.

Система нормализованных ортогональных функций, соответствующих собственным функциям, с весом r имеет вид

$$\Phi_k\left(i_k \frac{r}{R}\right) = \frac{2}{i_k} \frac{1}{2} \left[1 - \frac{J_0\left(i_k \frac{r}{R}\right)}{J_0(i_k)} \right]. \quad (23)$$

Для определения значения коэффициентов C_k обе части уравнения (21) умножим на $i_k \frac{r}{R} \Phi_k\left(i_k \frac{r}{R}\right) dr$, проинтегрируем по r от 0 до R и получим

$$C_k \int_0^R \frac{i_k}{R^2} \frac{2}{2} \left[1 - \frac{J_0\left(i_k \frac{r}{R}\right)}{J_0(i_k)} \right] \varphi_1(r) r dr. \quad (24)$$

Совместное решение (19) и (1) дает

$$\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial z} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{r}{R^2} J_0(i_k) e^{-\frac{i_k^2}{R^2} z} + \frac{R}{R^2}. \quad (25)$$

Из рисунка видно, что распределение давления вдоль оси трубы совпадает в пределе при $z \rightarrow \infty$ с распределением, соответствующим параболическому режиму течения, т. е.

$$\left(-\frac{\sigma p}{\sigma z}\right)_{z=0} = \frac{8L'_0 \tau_1}{R^2}.$$

Интегрируя соотношение (25) по z от 0 до некоторого z , окончательно получаем закон распределения давления вдоль оси трубы

$$\frac{p_0 - p}{k} = U_0 \sum_{k=1}^{\infty} \left[J_0(\nu_k) - J_0(\nu_k) e^{-\frac{\nu_k^2}{R^2 k^2} z} \right] + \frac{8U_0}{R^3} z. \quad (26)$$

Легко проверить, что в (26) при $z = 0$ будем иметь $p = p_0$.

Для проверки достоверности расчетов были сопоставлены экспериментальные кривые, полученные в [1], с данными, полученными по формуле (19). Расчетные кривые дают достаточно хорошее совпадение с данными экспериментов на всей длине начального участка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарг С. М. Основные задачи теории ламинарных течений. М.: Изд-во тех. теорет. лит., 1951 — 415 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974 — 711 с.
3. Попов Д. Н. Нестационарные гидро-механические процессы — М.: Машиностроение, 1982 — 240 с.

ЕрIII нм К. МдРхсд

7 VI 1988

Изв. АН АрмССР (сер. Техн.), т. XLIII, № 3, 1990, с. 126—127.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 62.1.317.734

Р. А. СИМОНЯН, С. А. ШАШИНЯН

ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Рассматриваются основные параметры выпускаемых приборов с точки зрения сложной реализации и функциональных возможностей. Доказывается необходимость разработки приборов пятого поколения для непосредственного быстрого и точного измерения основных параметров источников питания (выходного сопротивления, коэффициента нестабильности пульсации выходного напряжения и др.). Описан разработанный ранее прибор пятого поколения для измерения указанных параметров.

Табл. 1. Бил.миср.: 7 ниср.

[illegible]

Последнее десятилетие ознаменовалось ростом разработок стабилизированных источников питания различного назначения. Появились новые модификации и разновидности источников питания в зависимости от применения и конкретной нагрузки. Началась разработка специализированных источников питания для ЭВМ [1], лазеров [2], высоковольтных и прецизионных источников [3—4] и др. Все шире начали применять источники питания на основе интегральных микросхем [5].

Несмотря на большую номенклатуру, качество источников питания и пригодность к тому или другому назначению определяется, в основном, несколькими параметрами: КПД, пульсацией в цепи нагрузки, выходным сопротивлением, коэффициентом нестability и номинальным значением тока или напряжения. Выходной ток или напряжение источников питания находятся в функциональной зависимости от питающего напряжения, колебаний нагрузки, температуры, влажности окружающей среды, параметров и характеристик отдельных радиокомпонентов источников питания, уровня радиации. Измерение этих параметров является трудной технической задачей, однако ее можно решить, если известны частные нестability [6].

Выпускаемые промышленностью измерительные приборы марок В8-5, В8-8, В2-27, В2-34, В2-35 и Л2-71 нацелены на измерение дрейфа выходного напряжения или же малых приращений выходных напряжений источников питания, что способствует измерению частных производных, т. е. температурного и временного дрейфов, дрейфа выходного напряжения от изменений сетевого.

Все имеющиеся измерители (кроме Л2-71) представляют разные варианты одного и того же прибора — дифференциального вольтметра с различными возможностями и эксплуатационными удобствами. Эти приборы, благодаря точному измерению малых приращений выходного напряжения $\Delta U_{\text{вых}}$ источников питания, способны измерять основные параметры источников питания только в составе измерительного комплекса, включающего источник возмущающего воздействия (температура, сетевое напряжение и др.). В этих приборах нет разделения измерения $\Delta U_{\text{вых}}$ от влияния температуры окружающей среды, временного фактора и др. Кроме того, они требуют установки нуля перед каждым измерением и балансировки в каждом измерении, что малоэффективно для использования их в производственных условиях при проверке больших партий источников питания. Существенно затруднена стандартизация приборов по данным параметрам, т. к. не существует четкого разделения частных нестability источников питания.

В ИРФЭ АН АрмССР разработан макет прибора нового поколения, позволяющий непосредственно измерять параметры источников питания. При разработке прибора особое внимание было уделено высокоточному измерению коэффициента нестability и выходного сопротивления согласно [7], в котором при измерении коэффициента нестability модулируется питающее напряжение переменного тока исследуемого источника питания, а при измерении выходного сопротивле-

ния модулируется ток через нагрузку источника питания. Частота модуляции имеет порядок 1 Гц и синхронизирована с сетевым напряжением. Благодаря помехоустойчивой системе обработки сигнала, сетевые помехи и пульсации на выходном напряжении источника питания практически не влияют на точность измерения. Макет прибора снабжен четырехразрядным цифровым индикатором измеряемого параметра, вмонтированным цифровым задатчиком тока нагрузки, и имеет возможность выдачи результатов измерения в двоичном коде при необходимости стыковки прибора с ЭВМ. Технические данные макета прибора следующие:

величины измеряемых значений коэффициента нестабильности по напряжению — (0,2—0,005); выходного сопротивления — (10^{-6} —1) Ом; напряжений пульсации — (0,01—10) мВ; выходного напряжения источников питания — (0,1—100) В, величина тока, задаваемая цифровым задатчиком — (0,01—5,99) А.

Благодаря большим функциональным возможностям и быстродействию разработанный прибор может найти применение как в заводских условиях при массовой разработке разработанных источников питания, так и в лабораториях, при измерении параметров всевозможных источников питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мкртчян Ж. А. Электропитание электронно-вычислительных машин — М.: Энергия, 1980. — 208 с.
2. Вакуленко В. Н., Иванов А. П. Источники питания лазеров. — М.: Сов. радио, 1980. — 104 с.
3. Костиков В. Г., Никитин Н. Е. Источники электропитания высокого напряжения РЭА — М.: Радио и связь, 1986. — 200 с.
4. Розенблат М. Г., Михайлов Г. Х. Источники калиброванных напряжений постоянного тока. — М.: Энергия, 1976. — 208 с.
5. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Справочник / Г. С. Нейфельт, К. Б. Мазель и др. — М.: Радио и связь, 1985. — 576 с.
6. Измерители нестабильности напряжений / Под ред. Б. Л. Рудинского. — М.: Сов. радио, 1975. — 221 с.
7. А. с. № 1335815 СССР МКН G01D 5/14. Устройство для измерения параметров источников питания / Р. А. Симонян, С. А. Шашинян (СССР). — № 3991677. Заявл. 17.12.85; Опубл. 8.05.87. Бюл. № 33. — 4 с.

УДК 621.373

С. С. ГАСПАРЯН, Т. А. МИНАКАНЯН

ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА
ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ

Разработан программно-управляемый анализатор спектра для лазерного доплеровского измерителя скорости. Анализатор измеряет доплеровский сдвиг в диапазоне 5—500 МГц с шагом 5, 10, 20 кГц при чувствительности 1 мкВ. Время полного измерения спектра — 1 с.

На 3. Библиогр. 2 назв.

Արագության լազերային դոպլերյան չափի սարքի համար առկա է հաշվարկ զեկտրոնային սարքերի վերլուծիչ, որը 5—500 կՀց տիրույթում չափում է դոպլերյան շեղումը 5, 10, 20 կՀց քայլերով և 1 մկՎ մոտարային զգայունքով: Համախառնող ողջ տիրույթի վերլուծման ժամանակահատվածը մոտավորապես հավասար է 1 վ:

В последнее время резко возрос интерес к лазерным доплеровским измерителям скорости (ЛДИС). Практическая реализация подобных устройств осложнена жесткими требованиями к оптической части и необходимостью выделения полезного сигнала на фоне сильных шумов, т. е. отношение С/Ш (сигнал—шум) на выходе фотоприемника, как правило, меньше единицы.

Для обработки электрического сигнала ЛДИС чаще всего применяют анализаторы спектра, использование которых с параллельными фильтрами необоснованно усложняет устройство при необходимости выделения доплеровского сдвига в широком спектральном диапазоне. Анализаторы, работающие методом быстрого преобразования Фурье, требуют применения пока еще дефицитных быстродействующих АЦП (аналого-цифровой преобразователь) и ЭВМ. Поэтому нами применен анализатор спектра с разверткой частоты [1] в сочетании с методом накопления спектра. Основу разработанного комплекса составляет управляемый от ЭВМ «Электроника ДЗ-28» анализатор спектра с разверткой частоты. Принцип работы устройства можно проследить по блок-схеме, приведенной на рис. 1. Сигнал с выхода входного усилителя ВУ поступает в смеситель СМ, куда также поступает сигнал с выхода перестраиваемого генератора ПГ. С выхода СМ через фильтр низкой частоты ФНЧ сигнал разностной частоты поступает в фильтр промежуточной частоты ПФ с шириной полосы $F_{\text{ш}} = 3 \text{ кГц}$. Далее сигнал детектируется в детекторе ДТ и интегрируется интегратором со сбросом ИНС. При этом до сброса происходит запись величины проинтегрированного сигнала в устройство выборки и хранения УВХ, с выхода которого сигнал через АЦП и интерфейс ввода-вывода УВВ [2] вводится в машину. Кроме того, в целях контроля сигнал поступает на осциллограф ОС. Работой анализатора спектра управляет блок программной перестройки частоты ППЧ. Это приводит к перестройке частоты ПГ на

одни шаг, величина которого выбирается аппаратно. Частота ПГ индицируется встроенным индикатором ВИ. Одновременно ППЧ через УВВ вводит в машину адрес ячейки памяти, в которую необходимо записать значение обработанного сигнала в данном такте измерения. Указанная особенность работы устройства приводит к практически полному устранению нарушений в логике работы анализатора из-за возможных сбоев в машине. Число циклов измерения спектра выбирается программно, причем после каждого цикла устройство аппаратно возвращается в начальное состояние. Ввиду того, что одному и тому же такту в любом цикле соответствует измерение на одной и той же частоте, автоматически происходит накопление измеренных значений сигнала одной и той же частоты в определенной ячейке памяти машины, адрес которой задаст ППЧ, т. е. происходит накопление спектра за выбранное число циклов измерения.

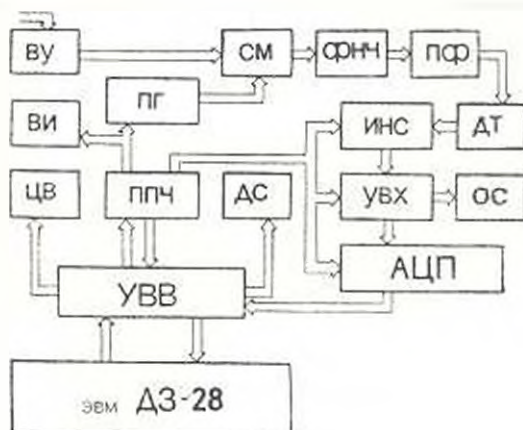


Рис. 1.

После окончания выбранного числа циклов измерения обработанная в машине информация выводится на двухкоординатный графоинструмент ДС и цифровой вольтметр ЦВ. Одновременно на индикаторную панель ЭВМ выводится измеренное значение доплеровской частоты и соответствующая этой частоте скорость движения объекта.



Рис. 2

На рис. 2 приведен типичный спектр сигнала при дистанционном измерении скорости рассеивающей мишени при шаге дискретизации

5кГц, а на рис. 3 — типичный спектр того же сигнала при шаге 10кГц. Два пика на рис. 2 соответствуют сигналам $(F_{\text{изм}} - F_{\text{пр}})$ и $(F_{\text{изм}} + F_{\text{пр}})$.

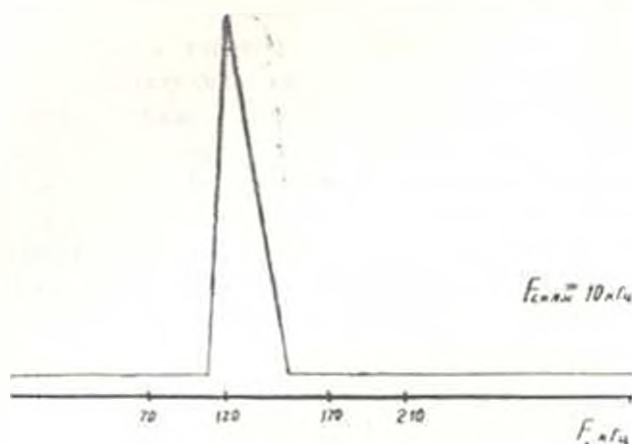


Рис. 3

Разработанный измерительный комплекс имеет следующие параметры: диапазон измеряемых значений доплеровского сдвига — 5—500 кГц, шаг дискретизации — 5, 10 и 20 кГц, входная чувствительность при отношении С/Ш по входу — 60 дБ порядка 1 мкВ, максимальное время одного измерения — 1 с, а вывод обработанной информации на ДС производится с точностью 0,1% и дискретностью 10 мВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мале Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. — М.: Мир, 1983. — 276 с.
2. Фрадков А. И., Залин Г. П., Кацюба Ш. А. Система сбора, обработки и регистрации экспериментальной информации на основе микро-ЭВМ «Электроника ДЗ-28». — ПТЭ — 1984. — № 6. — С. 47—52.

ИФИ АН АрмССР

23, VI, 1988

ИФ. АН АрмССР (сер. ПН, т. XLIII, № 3, 1990, с. 130—133)

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.869.1

Р. А. ОВНЯНЯН, С. С. ЧИБУХЧИЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА В ГИДРОЦИЛИНДРЕ АВТОПОГРУЗЧИКА

Исследуется работа гидравлического механизма автопогрузчика, при работе которого в гидросистеме возникают динамические явления. Приводится система дифференциальных уравнений, описывающая нестационарное движение поршня гидроцилиндра.

Даются решения этой системы, которые могут быть применены в инженерных расчетах

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 1 назв.

Անալիզի առարկա է ապոգրեյտի վերամբարձ մեխանիզմի աշխատանքը, որի թողարկման ժամանակ հիդրոհամակարգում առաջանում են դինամիկական երևույթներ: Բերվում է հիդրոգիանի միտքի չկայունացված շարժումը նկարագրող դիֆերենցիալ համասարումների համակարգը: Տրվում են այդ համակարգի լուծումները, որոնք կարող են օգտագործվել ինժեներական հաշվարկների ժամանակ:

Значительная часть рабочего времени при эксплуатации автопогрузчиков тратится для совершения работы грузоподъемного механизма, который получает гидравлическую энергию от насоса шестеренной или пластинчатой конструкции. Подъемный механизм автопогрузчика представляет собой гидроцилиндр двухстороннего действия, при пуске которого возникают динамические явления, неблагоприятно воздействующие на работу как отдельных узлов, так и всей гидросистемы в целом. Для изучения этих явлений изготовлена лабораторная установка,

схема которой приведена на рис. 1.

На этой установке при разных подачах насоса и массе груза определялись скорости подъема. Одновременно на самопишущей установке регистрировались изменения давления по времени в гидроцилиндре и на выходе насоса [1].

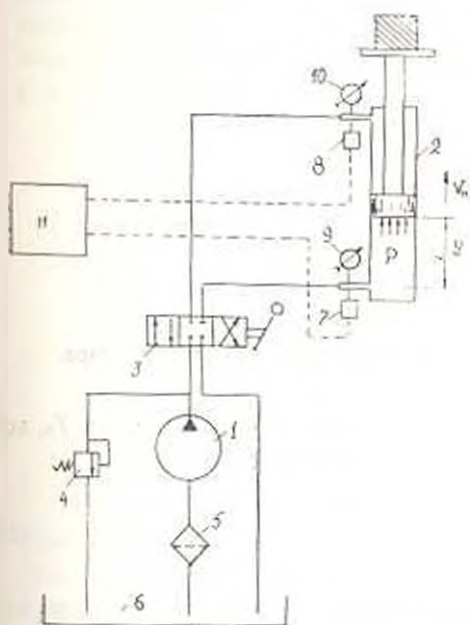


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки. 1 — насос, 2 — гидроцилиндр подъема, 3 — распределитель, 4 — предохранительный клапан, 5 — фильтр, 6 — бак, 7 и 8 — датчики давления, 9 и 10 — образцовые манометры, 11 — самопишущий прибор.

На рис. 2 приведен график изменения давления в напорной полости гидроцилиндра. Как видно, давление резко поднимается в интервале $0 < t < T_0$ и может достичь максимального давления, развиваемого насосом. Движение поршня начинается в момент T_0 и до конца времени T носит нестационарный характер. Для исследования изменения давления в нестационарном режиме воспользуемся следующей системой дифференциальных уравнений:

$$m \frac{d^2 v}{dt^2} + k_v \frac{dv}{dt} = PS - mg. \quad (1)$$

$$\mu A \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_n - P)} - S \frac{dy}{dt} = \beta W \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

где k_r — коэффициент трения, P — давление под поршнем, S — рабочая площадь поршня, ρ — осредненное значение коэффициента расхода гидросистемы от насоса до гидроцилиндра, A — площадь сечения напорного трубопровода, P_n — давление насоса, β — коэффициент сжимаемости жидкости, W — мертвый объем гидроцилиндра.

Из равенства объемов рабочей жидкости

$$\mu A \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_n - P)} = \beta W \frac{dP}{dt} \quad (3)$$

с учетом начальных условий $t = 0$, $P = 0$ можно записать, что

$$t = \frac{\beta W \sqrt{2\rho}}{\mu A} (\sqrt{P_n} - \sqrt{P_n - P}). \quad (4)$$

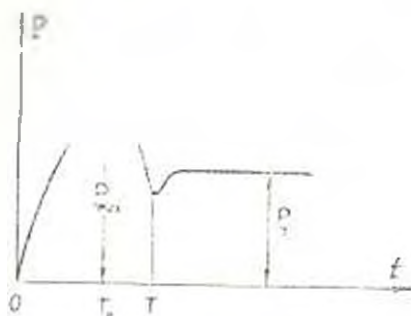


Рис. 2. График изменения давления в напорной полости гидроцилиндра.

Максимальное значение давления достигается в течение времени T_0 , которое определяется по уравнению (4), подставляя в последнее

$$T_0 = \frac{\beta W}{\mu A} \sqrt{2\rho P_n}. \quad (5)$$

По истечении времени T_0 поршень отрывается от нижнего мертвого положения и движется вверх. Начинается нестационарное движение поршня, которое описывается уравнением (1). Для решения задачи воспользуемся также уравнением (2), последним членом которого можно пренебречь, т. к. коэффициент объемного сжатия рабочей жидкости очень мал: $\beta = (5-6) \cdot 10^{-7} \text{ 1/КПа}$. Тогда имеем

$$\left\{ \begin{aligned} m \frac{d^2 y}{dt^2} + k_r \frac{dy}{dt} &= PS - mg, \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \mu A \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_n - P)} &= S \frac{dy}{dt}. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Совместное решение (6) и (7) дает

$$\frac{a}{V \overline{P_n - P}} \frac{dP}{dt} - a_1 V \overline{P_n - P} = a_2 = P, \quad (8)$$

где

$$a = - \frac{m_p A}{S^2 V 2g}, \quad a_1 = \frac{k_p A}{S^2} \sqrt{\frac{2}{\rho}}, \quad a_2 = \frac{mg}{S}.$$

Для интегрирования (8) имеем начальное условие $t = T_0$, $P_n = P$, которое дает зависимость между P и t

$$t = \frac{2a}{\sqrt{\Delta}} \left[\ln \frac{a_2 - \sqrt{\Delta}}{a_1 + \sqrt{\Delta}} - \ln \frac{2 \sqrt{P_n - P} + a_1 - \sqrt{\Delta}}{2 \sqrt{P_n - P} + a_1 + \sqrt{\Delta}} \right], \quad (9)$$

где $\Delta = a_1^2 - 4(a_2 - P)$, $a < 0$.

Когда движение поршня становится равномерным, давление в гидроцилиндре устанавливается на некоторую величину $P_n = \text{const}$. Во время экспериментов значения давлений насоса и гидроцилиндра определялись при помощи образцовых механических манометров, а время T_0 и T определены из кардиограммы.

Результаты расчетов и данные экспериментов приведены в таблице.

Таблица

m, кг	P_n , кПа	P_a , кПа	T_0 , с		T , с	
			по расчету	по опыту	по расчету	по опыту
300	5900	2900	0,0385	0,03	0,0425	0,16
200	5800	2100	0,0382	0,06	0,0326	0,05
150	5700	1700	0,0376	0,06	0,0308	0,04

Нестационарный режим при подъеме груза протекает кратковременно, но при этом давление резко изменяется, что необходимо учитывать при определении прочности отдельных узлов и соединений, т. к. процесс изменения давления в гидроцилиндре грузоподъемного механизма неоднократно повторяется, что является немаловажным фактором для нормальной работы всей гидросистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чибухян С. С., Овнянин Р. А. Регулирование скорости рабочего органа автономного грузчика // Промышленность Армении. — 1987. — № 10. — С. 64—65.

УДК 621.616.4

Р. М. РАФАЭЛЯН, Э. П. АЩЯНЦ, А. А. КАРАНФИЛЯН

РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ

Приведены результаты исследования регулятора давления для напорной распределительной сети. Предлагаются дифференциальные уравнения, описывающие работу регулятора, по которым на ЭВМ выполнены расчеты, представленные в виде графических зависимостей.

Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Ուղղված է հոգաման ցանցերի համար մշակված մեծածախ կառավարիչի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը: Փորձարկման և հաշվարկային եզրակացությունից բացահայտվել է կառավարիչի աշխատանքը անցումային ռեժիմների ժամանակ:

Для стабилизации давления в напорных трубопроводах применяются регуляторы давления. В настоящей статье приведены результаты исследования разработанного в АрмИИВПНИ регулятора давления [1], отличающегося от аналогичных [2, 3] простой конструкции.

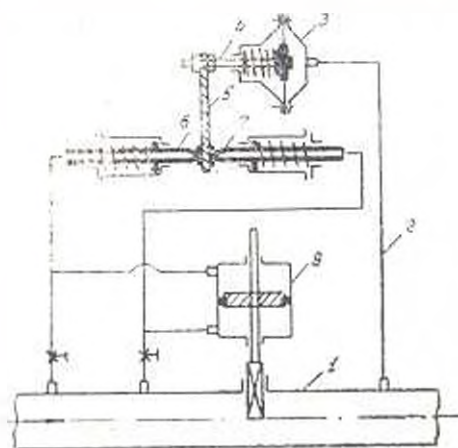


Рис. 1. Схема регулятора давления.

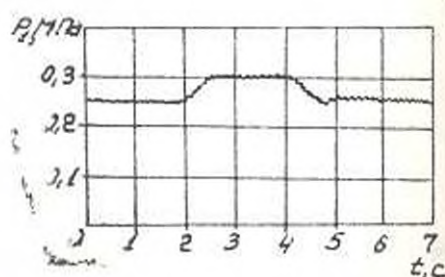


Рис. 2. Осциллограмма изменения давления после регулятора

На рис. 1 приведена схема регулятора. Гидравлическое исследование работы опытного образца регулятора проводилось в лабораторных условиях. Определялся характер изменения давления в трубопроводе после регулятора при изменении его значения на входе в пределах (0,4—1) МПа. На рис. 2 приведена осциллограмма изменения давления в трубопроводе после регулятора в случае повышения давления перед регулятором от 0,45 до 0,8 МПа. Как видно, в данном случае стабилизация давления происходит за время $t = 3$ с. С целью суждения о величинах расходов воды через сопло определена расходная характери-

ка управляющего элемента, из которой следует, что с увеличением расстояния z заслонки до торца сопла ($d_0 = 4$ мм) от 0,5 мм до 5 мм расход в зависимости от давления изменяется в пределах (100—300) см³/с, а коэффициент расхода μ — в пределах 0,45—0,1.

Математическое моделирование регулятора выполнено с помощью системы дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} &= \left[p_0 - \xi(x_2) \frac{\rho Q_{\text{тр}}^2}{2\omega_{\text{тр}}^2} \right] \omega_1 - C(x_1 + x_0), \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} &= \left[p_0 - \xi(x_2) \frac{\rho}{2} \left(\frac{\omega_n}{\omega_r} \right)^2 \left(\frac{dx_2}{dt} \right)^2 \right] \omega_n + G - F_r \end{aligned} \quad (1)$$

при начальных условиях

$$t = 0, \quad x_1 = x_1^0, \quad x_2 = x_2^0, \quad \frac{dx_1}{dt} = 0, \quad \frac{dx_2}{dt} = \left(\frac{dx_2}{dt} \right)_0, \quad (2)$$

где m_1 , m_2 и x_1 , x_2 — массы и перемещения подвижных частей чувствительного элемента и гидрозадвижки; p_0 — давление перед регулятором; $p_1 = p_k = (p_k - p_0) e^{-\frac{t}{T}}$; p_0 , p_k — давления перед регулятором: начальное и в конце переходного процесса; $Q_{\text{тр}}$ — расход воды в трубопроводе; $\xi(x_1) = \frac{a_1}{x_1^2}$; $\xi(x_2) = a_2 = \frac{b_2}{(D - x_2)^2}$ — коэффициенты гидравлических сопротивлений элемента „сопло-заслонка“ и гидрозадвижки; $a_1 = 0,25$, $a_2 = 1,7$, $b_2 = 180$; D — диаметр трубопровода, см; ρ — плотность воды; $\omega_{\text{тр}}$, ω_n , ω_d , ω_1 — площади сечений трубопровода, мембраны, гидроцилиндра и соединительных труб; C — жесткость пружины; g — ускорение силы тяжести; $F_r = \left(f_0 - K \frac{dx_2}{dt} \right) N \sqrt{x_2}$ — сила трения при движении поршня, b_0 — коэффициент трения покоя; $K = 0,1$, $N = 20$ — параметры, определяемые опытным путем.

При пренебрежении инерцией подвижных частей чувствительного элемента из первого уравнения системы (1) следует соотношение между изменением коэффициента гидравлического сопротивления гидрозадвижки и разностью давлений ($p_k - p_0$) до регулятора при $t \rightarrow \infty$ и $t = 0$. Это соотношение имеет вид

$$\Delta \xi(x_2) = \frac{2(p_k - p_0)\omega_{\text{тр}}^2}{\rho Q_{\text{тр}}^2} \quad (3)$$

Используя выражение для коэффициента гидравлического сопротивления гидрозадвижки, из уравнения (3) получается зависимость между приращением положения штока гидрозадвижки и указанной разностью давлений

$$\Delta x_2 = \frac{(p_k - p_0)(D - x_2)^2 \omega_{\text{тр}}^2}{b_2 \rho Q_{\text{тр}}^2} \quad (4)$$

Для перепадов давлений до и после регулятора справедливы соотношения

$$p_0 - p_1 = \zeta(x_1) \frac{\rho Q_{\text{тр}}^2}{2\pi}, \quad p_1 - p_2 = [\zeta(x_1) + \lambda(x_1)] \frac{\rho Q_{\text{тр}}^2}{2\pi^2} \quad (5)$$

После срабатывания регулятора шток чувствительного элемента возвращается в первоначальное положение, т.е. принимает значение $x_1 = 0$. Для случая повышения давления перед регулятором по параметрам экспериментальной установки на СМ-ЭВМ выполнены расчеты для определения значений $x_1(t)$ и $x_2(t)$. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

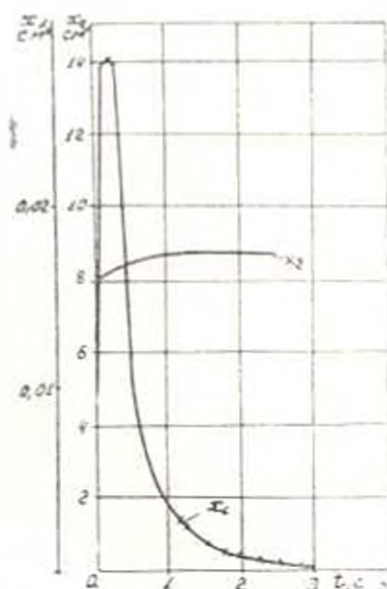


Рис. 3. Расчетные значения $x_1(t)$ и $x_2(t)$ при повышении давления перед регулятором.

Экспериментальные и расчетные данные показали, что в исследуемом диапазоне давлений имеет место устойчивая работа регулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1348792 СССР, МКН Г 05 Д 16/06. Регулятор давления воды / Р. М. Рафаэлюк, Э. П. Андреев, А. А. Карацкая, О. Р. Шатюрович (СССР) — 4017161/23-24, Заяв. 05.02.86; Опубликовано 30.10.87, Бюл. № 40 — 3 с.
2. А. с. 180091 СССР, МКН Г 05 Д 16/10. Регулятор давления сепараторного действия / Н. П. Гриняко, Н. М. Милославский, Н. В. Вязанов, В. Г. Науменко, Н. П. Седкин (СССР) — 1988294/18-24, Заяв. 07.01.74, Опубликовано 25.10.75, Бюл. № 39 — 3 с.
3. А. с. 459766 СССР, МКН Г 05 Д 16/20. Устройство, стабилизирующее давление в пилотных трубопроводах / Н. П. Филимонов (СССР) — 1806003/25-8; Заяв. 01.07.72; Опубликовано 05.02.75, Бюл. № 5 — 3 с.

И. Г. ВАЛЕСЯН, М. М. МАРТИРОСЯН

КОНСТРУКЦИИ ОПРАВОК САМОПРЕССОВАНИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭФФЕКТОМ

Из полимерных композиционных материалов качественные изделия можно получить при помощи температурного регулирования давления в самопрессующих оправках. Описаны оправки, которые в зависимости от изменения температуры прессования меняют величину давления. Самопрессующие оправки конструктивно отличаются тем, что их внутренние узлы, на которые наматываются изделия, изготавливаются из металла с большим коэффициентом линейного расширения, а узел, формирующий наружную поверхность изделия, наоборот. В процессе сушки внутренний узел оправки, имея большое расширение, уменьшает пространство для изделия, тем самым постепенно увеличивая величину давления прессования.

Ил. 3. Библиограф. 2 назв.

Պոլիմերային կոմպոզիցիոն նյութերից որակյալ արտադրանք կարելի է ստանալ ինքնամամլի կալակների միջոցով ճնշման ջերմային կարգավորմամբ: Աշխատանքում նկարագրված են կալակներ, որոնք կարող են կարգավորել ճնշման մեծությունը՝ կախված ջերմաստիճանից: Ինքնամամլի կալակների կառուցվածքի տարրերայիններ կախվում է նրանում, որ նրանք ներքին խնդույցներ, որոնց վրա փաթաթում են շինվածքը, պատրաստված է ալյւմին մեծ ջերմային քնդարձակման զարծակից ունեցող մետաղից, իսկ արտաքին ձևի ձևավորող խնդույցը՝ րնդճկառակէր: Չորացման բնթացրում կալակի ներքին խնդույցի գերլախուցումը փորրացնում է կալակի մէջ շինվածքին պատկանող տարածությունը և աստիճանաբար աւելացնում ճնշման մեծությունը:

Технология получения тонкостенных намоточных изделий с высокими механическими характеристиками методом «самопрессования», заключающаяся в использовании эффекта, который возникает в процессе нагрева формы с различными коэффициентами температурного расширения (КТР) материалов внутренней оправки и наружной обоймы, описана в [1, 2].

В настоящей работе рассмотрены конструкции оправок с регулируемым эффектом самопрессования. Известно, что монолитность системы волокно-связующее и ее физико-механические свойства зависят от режимов формования и давления прессования. Однако для реализации прочности волокна в композите важно определение и регулирование величины оптимального давления, которая зависит от физических и технологических свойств полимерных композиционных материалов (ПКМ). Одним из важных моментов в процессе самопрессования является закрытие технологических зазоров, возникающих при составлении пакетов плоского прессования или при намотке пропитанной ленты (препрег) на цилиндрическую оправку. Величина технологического зазора определяется опытным путем, но в каждом отдельном случае требуется знание величины температурного перемещения прессующих поверхностей, обеспечивающих получение оптимального давления самопрессо-

вания. Для решения этой задачи был разработан и применен пресс (рис. 1), состоящий из верхней 1 и нижней 2 траверсы, соединенных между собой стойками 3. На верхней плите 7 верхней траверсы концентрично расположены цилиндры 8 и 9, часть которых изготовлена из материала с КТР α_1 , а другая — с КТР α_2 ($\alpha_1 > \alpha_2$).

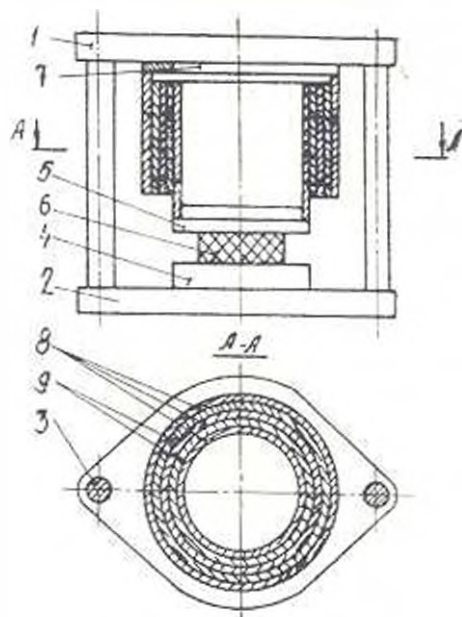


Рис. 1. Общий вид пресса.

Исследуемый образец 6 устанавливается между прессующими плитами 4 и 5 и при нагревании из-за разностей α_1 и α_2 происходит удлинение цилиндров. Регулированием величины взаимного перемещения прессующих поверхностей Δh достигается оптимальное усилие самопрессования, приводящее к максимальной прочности получаемого материала.

Рассмотрим конструкции двух оправок с регулируемым эффектом самопрессования для получения намоточных изделий из ПКМ. На рис. 2 изображен общий вид оправки для изготовления профильных изделий. Она состоит из элементов 1 прямоугольного сечения, соединяемых друг с другом при помощи шпилек 2 и гаск 3. Наружная часть оправки состоит из плит 4, прижимаемых друг к другу при помощи шпилек 5, втулок 8 и гаск 6 с шайбами 7. Положим, что предусмотрено и элементов 1 (рис. 2), причем, толщина каждого проектируемого профиля при температуре T_0 до отверждения равна δ_0 . После нагрева до температуры T толщина слоев отверждаемого композита уменьшается за счет разницы расширений элементов 1, 5 и 8 на величину

$$(\pi + 1)(\delta_0 - \delta) = l(\alpha_1 - \alpha_2)(T - T_0), \quad (1)$$

где α_1 и α_2 — КТР алюминия и стали соответственно, δ — проектируемая толщина профиля после отверждения. Относительная деформация прессования при этом равна

$$\varepsilon_n = \frac{(\delta_0 - \delta_1)}{\delta_n} = \frac{l}{(n+1)\delta_n} (\alpha_a - \alpha_c) (T - T_0), \quad (2)$$

откуда

$$l_n = \frac{(n+1)\varepsilon_n \delta_n}{2(\alpha_a - \alpha_c)(T - T_0)} = \frac{\pi}{2} l_1, \quad (3)$$

где l_1 — линейный размер элемента 1.

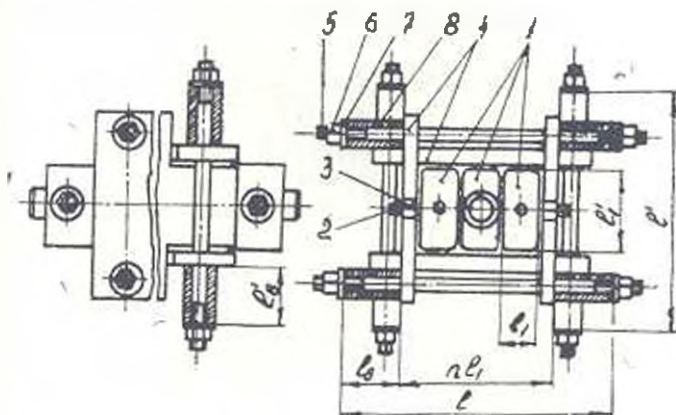


Рис. 2. Оправка для намотки профильных изделий.

Для определения необходимой длины втулок в перпендикулярном направлении, которая обеспечивает прессование полок, соответствующее заданной деформации прессования ε_n достаточно в (3) принимать $n = 1$ —

$$l_n = \frac{\delta_0 \delta_n}{(\alpha_a - \alpha_c)(T - T_0)} \frac{l_1}{2}, \quad (4)$$

где δ_0 — толщина полок до отверждения.

Конструкция оправки для изготовления цилиндрических оболочек приведена на рис. 3. Она имеет внутреннюю 1 и наружную 4 обечайки, состоящие из отдельных сегментов, опирающихся на башмаки 2 и 9, которые закрепляются на секторах 3 и 10 диска 5 составных опор. Секторы 3 штифтами 7 и винтами 8 соединяются с диском 5 и закреплены на ступице 6. После достижения температуры отверждения ПКМ T радиальное перемещение внутренней оправки u_n определяется из выражения

$$u_n = [(l_1 + l_0)\alpha_c + n l_1 (\alpha_a - \alpha_c) - S\alpha_a] (T - T_0), \quad (5)$$

где n — количество секторов в одной составной опоре. Перемещение же наружной оправки u_n в радиальном направлении при схеме закрепления, приведенной на рис. 3, выразится так

$$u_n = (l_1 + l_c)\alpha_c (T - T_0), \quad (6)$$

а изменение зазора $(\delta_0 - \delta_1)$ —

$$\delta_0 - \delta_1 = u_n - u_n = [l_1 (\alpha_a - \alpha_c) n + (l_1 + l_c)\alpha_c - S\alpha_a] (T - T_0), \quad (7)$$

Для обеспечения прессования оболочек, соответствующего деформации ε_0 , согласно выражению (7) получим следующую формулу для выбора мест соединения элементов 3, 5 и 10, определяющих длину l_a (рис. 3):

$$l_a = \frac{\frac{\varepsilon_0 \delta_0}{T - T_0} + l_c \alpha_1 - S \alpha_1}{\alpha_1 + n (\alpha_a - \alpha_c)} \quad (8)$$

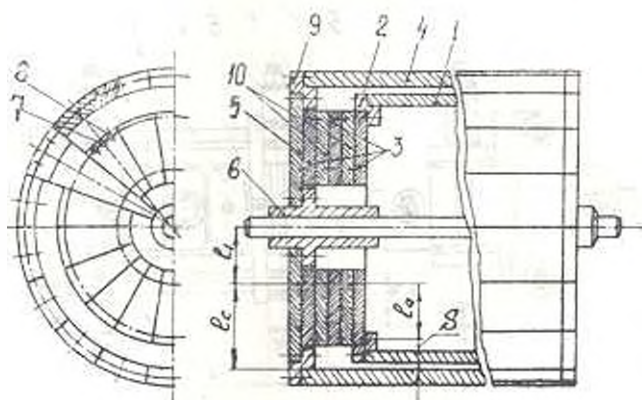


Рис. 3. Образка для намотки цилиндрических изделий

Из технологических соображений в некоторых случаях представляется целесообразным наружную обойму заменять намоткой прессующего слоя из стальной проволоки, ленты или стеклонити поверх намотанного, неутвержденного изделия. При использовании стеклонити формула (8) заменяется следующей:

$$l_a = \frac{\frac{\varepsilon_0 \delta_0}{T - T_0} - l_c \alpha_1 - S \alpha_1 + l_1 (\alpha_r - \alpha_c)}{\alpha_1 + n (\alpha_a - \alpha_c)}, \quad (9)$$

α_1 — КТР прессующего слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маргаросян М. М. Получение прессованных тонкостенных труб из стеклопластика // Промышленность Армении. 1971. — № 10. — С. 56—57.
2. Маргаросян М. М., Симонян А. М. К вопросу об опрессовке тонкостенных труб из композиционного материала // Изв. АН АрмССР. Сер. СН. — 1983. — Т. XXXVI. № 1. — С. 12—16.

СКТБ КМ АН АрмССР

25.XII.1987

УДК 662.691.4:330.115

Л. А. УНЯНЯН

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ВАРИАНТНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваемая проблема оптимизации развития и реконструкции газоснабжающих систем с точки зрения многокритериальности. Предлагается подход многоцелевой оптимизации распределительных газотранспортных систем при вариантной формулировке задачи. Библиограф — 3 жана.

Բազմապատկերիչության տեսակետից դիտարկվում է զարգացման և վերակառուցման գազատրանսպորտային համակարգերի զարգացման և վերակառուցման օպտիմալացման խնդիրը: Առաջարկվում է բազմապատկերիչության տեսակետից բազմապատկերիչ օպտիմալացման խնդիրը տարբերակային ձևակերպման դեպքում:

В настоящее время задачи развития и реконструкции газотранспортных систем (ГТС) решаются в однокритериальной постановке. В качестве такого критерия, как правило, рассматривается минимум суммарных приведенных затрат, однако количество критериев, характеризующих качество выбираемых решений, значительно больше. В число дополнительных критериев могут входить: суммарные металлоложения или общая длина труб одного или нескольких диаметров, мощности вводимых компрессорных станций или количество вновь устанавливаемых газоперекачивающих агрегатов, общая длина вводимых лупингов, количество (стоимость) устанавливаемых кранов, показатели надежности газоснабжения и охраны природы и др. Некоторые из этих показателей в свою очередь могут быть разложены на более частные критерии. Если большинство из перечисленных критериев должны быть минимизированы, то критерии по надежности (коэффициенты эффективности, готовности и др.) — максимизированы. Кроме того, некоторые из критериев, направленных в одну и ту же сторону, противоречивы: так, например, стремление минимизировать затраты на линейную часть приводит к увеличению затрат по компрессорным станциям и наоборот.

Для решения задач многокритериальной оптимизации развития и реконструкции ГТС с учетом их особенностей может быть привлечен широкий арсенал методов, разработанных в рамках теории принятия решений и системного анализа. Не рассматривая здесь особенности разных подходов, отметим лишь, что на практике оправдываются относительно простые рекомендации. Среди задач многокритериальной оптимизации выделяется особый класс, в котором ставится цель достижения возможно близких к задаваемым экспертами значениям величин критериев (задачи многоцелевой оптимизации).

Ниже рассматривается подход решения задачи многоцелевой оптимизации развития и реконструкции распределительных ГТС (РГТС) и

вариантной постановке. Она формулируется следующим образом. Для каждого нового (проектируемого) или действующего (реконструируемого) элемента (газопроводного участка) РГТС отобраны наборы вариантов возможных технических решений их строительства. Необходимо определить, то сочетание вариантов технических решений системы, при котором обеспечиваются технологические условия передачи заданных потоков газа по участкам, и совокупность критериев, по которым оцениваются выбираемые решения. Под РГТС имеется в виду система действующих и проектируемых газопроводных участков (ГУ), распределяющих газ из одной или нескольких точек магистрального газопровода (источники системы) к городам и населенным пунктам (потребители системы) территориального района. В частности, таковой является в настоящее время ГТС Армянской ССР.

Опишем структуру развиваемой или проектируемой РГТС на рассматриваемую перспективу графом $G(Y, I)$. Дугам графа I соответствуют развиваемые и новые ГУ. Мощность множества I обозначим N . Множеству вершин графа Y соответствуют узлы системы — точки стыковки IV и пункты расположения источников и потребителей системы. Предполагается, что потоки газа по участкам от источников до потребителей заданы заранее.

Пусть для развития i -го ГУ выбраны n_i вариантов решения, $I_i \subset I$. Если действующий участок может не развиваться, то вариант с его действующими техническими параметрами тоже включается в число рассматриваемых. С целью учета гидравлического режима передачи газа по системе для каждого рассматриваемого варианта ГУ оценим перепад квадратов давлений газа на участке, что для i -го ГУ при k -ом варианте оценивается по формуле [1]

$$\Delta P_{ik} = P_{ik}^2 - P_{ik}^0 = c L_i Q_i^2 D_{ek}^{-5}, \quad (1)$$

где P_{ik} , P_{ik}^0 — соответственно начальное и конечное давление газа участка, $МПа$; c — обобщенный газодинамический коэффициент; L_i — длина участка, $км$; Q_i — поток газа по участку, $млн \cdot м^3 \cdot сут$; D_{ek} — эквивалентный диаметр участка, $мм$.

Пусть для оценки проектных решений выбраны M критериев. Будем предполагать, что эти показатели имеют аддитивный характер или сводятся к таковым. По каждому из критериев можно составить матрицу вида

$$A^r = \begin{bmatrix} a_{11}^r & a_{12}^r & \dots & a_{1n_i}^r \\ a_{21}^r & a_{22}^r & \dots & a_{2n_i}^r \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M1}^r & a_{M2}^r & \dots & a_{Mn_i}^r \end{bmatrix}, \quad r = 1, M, \quad (2)$$

элемент a_{ij}^r которой равен составляющему k -го критерия по i -му ГУ при j -м варианте его развития. Отметим, что в общем случае

$n_1, n_2, \dots, n_N$, поэтому матрицы A' будут содержать прочерки на местах отсутствующих элементов. Если какой-либо ГУ не участвует в формировании соответствующего критерия по системе, то в соответствующей строке матрицы критерия будут стоять прочерки. Сформируем обобщенный критерий оценки выбираемых решений в соответствии с формулой [2]

$$F(X) = \min \left[\sum_{r=1}^m \varphi_r \frac{f_r^0 - f_r(\bar{X})}{f_r^0 - f_{r(\min)}} + \sum_{r=m+1}^M \varphi_r \frac{f_r(\bar{X}) - f_r^0}{f_{r(\max)} - f_r^0} \right], \quad (3)$$

где $\bar{X} = (X_{1k_1}, X_{2k_2}, \dots, X_{Nk_N})$ — вектор решения задачи, i -я координата которого X_{ik_i} представляет возможные варианты по i -му ГУ;

$X^* = (X_{1k_1}^*, X_{2k_2}^*, \dots, X_{Nk_N}^*)$ — оптимальный вектор решений задачи;

X — допустимое множество решений по системе, определяемое на декартовом произведении $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_N$; $f_r^0, f_{r(\min)}$ — соответственно максимальное и минимальное значения r -го максимизируемого критерия системы на допустимом множестве решений; $f_{r(\max)}, f_r^0$ — то же, для r -го минимизируемого критерия; $\varphi_r, r = 1, M$ — весовые коэффициенты. Отметим, что первые m слагаемые (3) соответствуют максимизируемым критериям системы, а остальные — минимизируемым. Для нашей задачи $f_r^0, f_{r(\min)} (f_{r(\max)}, f_r^0)$ представляют собой суммы соответственно максимальных и минимальных элементов строк матрицы A' .

С учетом (2) и (3) сформируем обобщенную критериальную матрицу системы

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Расчет элементов матрицы A можно осуществить различными способами, один из которых заключается в следующем. Производится преобразование элементов a'_{ij} матриц (2) по формулам

$$\bar{a}'_{ij} = \varphi_r \frac{f_r^0 M - a'_{ij}}{f_r^0 - f_{r(\min)}}, \quad r = \overline{1, m} \quad (5)$$

$$\bar{a}'_{ij} = \varphi_r \frac{a'_{ij} - f_r^0 M}{f_{r(\max)} - f_r^0}, \quad r = \overline{m+1, M}.$$

Затем полученные преобразованные матрицы суммируются. В результате получается матрица A .

Для формирования задачи оптимизации введем переменные X_{ik} , каждая из которых принимает значение, равное 1, если по i -му ГУ принимается к реализации k -ый вариант, и равное 0, если k -ый вариант к реализации не принимается:

$$X_{ik} \in \{0; 1\}, \quad i \in I, \quad k = \overline{1, n_i}. \quad (6)$$

Будем считать допустимым принятие по каждому ГУ только одного варианта решений, т. е.

$$\sum_{k=1}^{n_i} X_{ik} = 1, \quad i \in I. \quad (7)$$

Пусть на графе системы имеются L различных путей передачи газа от источника системы до конечных потребителей. Через S_l , $l = \overline{1, L}$, обозначим l -ый путь передачи газа. Допустимое минимальное давление газа потребителя, расположенного в конце пути S_l , обозначим P_{S_l} . Тогда путем последовательных подстановок с использованием (1) выводится следующее соотношение:

$$\sum_{i \in S_l} \Delta P_{ik} X_{ik} \leq P_u^2 - P_{S_l}^2 = \Delta P_{uS_l}, \quad l = \overline{1, L}, \quad (8)$$

где P_u — давление газа источника системы. С учетом сделанных обозначений и пояснений задача выбора оптимальной РГТС сводится к целевой функции

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{n_l} a_{lk} X_{lk} \rightarrow \min \quad (9)$$

при условиях (6) — (8).

Задача (6) — (9) решается методом «ветвей и границ» [3]. Первоначально производится отсев тех вариантов технических решений по элементам системы, которые заведомо нарушают условия (7) и не могут входить в оптимальный план задачи. Далее вследствие отсева упрощенных матриц (4) и ΔP_{ik} по всем рассматриваемым путям передачи газа S_l , $l = \overline{1, L}$ последовательно производится сопоставление каждому участку варианты его технических решений. Для каждого такого сопоставления производится оценка нижних границ целевой функции (8) и ограничений (7). Те варианты сопоставления, при которых нижние границы ограничений нарушают условия (7), отбрасываются из дальнейшего рассмотрения. Из оставшихся вариантов по данному элементу для дальнейшего ветвления выбирается тот вариант, для которого нижняя оценка (8) минимальна. Такой процесс оценки границ и ветвлений продолжается до последнего N -го элемента системы, в результате чего определяется оптимальное решение задачи оптимизации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Агапкин В. М. и др. Справочное руководство по расчетам трубопроводов.— М.: Недра, 1987.— 192 с.
2. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем.— М.: Наука, 1982.— 288 с.
3. Цвирук А. Д. Структура сложных систем.— М.: Советское радио, 1975.— 199 с.

ЕрПИ им. К. Маркса

2. 11. 1989

Ա. Ա. Բաբայան, Էլեկտրոնային համակարգերի ստատիկ կազմակերպումը՝ շարունակական մեխանիկայի օգնությամբ	101
Վ. Ա. Առաքելյան, Էլեկտրոնային շարժման համակարգի ուժերի լավարկման մեթոդի մոդիֆիկացիա	105
Ա. Ա. Բաբայան, Պարամետրիկ համակարգերի շարժման մեկ մոդուլի և երեք կոորդինատների մասին	109
Վ. Լ. Բաբայան, Ա. Վ. Բաբայան, Էլեկտրոնային շարժման կոորդինատների որոշումը	114
Ա. Ջ. Բաբայան, Ի. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման լուծումը՝ հաշվի առնելով տնտեսական փոփոխությունները	117
Ա. Ա. Բաբայան, Կարգավիճակի խոչընդոտման մոդելի տեղափոխում մոնոպոլիային	121
Ի. Ա. Բաբայան, Ա. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	125
Ա. Ա. Բաբայան, Տ. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	128
Ա. Ա. Բաբայան, Ա. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	130
Ա. Ա. Բաբայան, Է. Վ. Բաբայան, Ա. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	134
Ա. Ա. Բաբայան, Մ. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	137
Լ. Ջ. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	141

СОДЕРЖАНИЕ

1. Ա. Բաբայան, О возможности не детерминированности в статистической электродинамике с помощью метода продолжения	101
В. А. Бабалян, Метод и алгоритм оптимизации режимов электротермических систем	105
Г. А. Бабалян, Об одной модели хаотического распределения ресурсов и ее приложения	109
В. Г. Бабалян, А. Н. Бабалян, К оптимизации координат световых пучков	111
С. Г. Бабалян, Г. А. Бабалян, Роль не детерминированной модели флуктуации с учетом корреляционной структуры	117
Լ. Ա. Բաբայան, Развитие теории хаотического распределения ресурсов на плодном участке круглой цилиндрической трубы	121
Բ. Ա. Բաբայան, Տ. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	125
Ա. Ա. Բաբայան, Ա. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	128
Բ. Ա. Բաբայան, Մ. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	130
Բ. Ա. Բաբայան, Է. Վ. Բաբայան, Ա. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	134
Ա. Ա. Բաբայան, Մ. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	137
Լ. Ա. Բաբայան, Կապիտալիզմի տնտեսական շարժման մոդելի մոդիֆիկացիա	141