

ISSN 0002-306X

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՄԱՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

12

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5. 1. 1948 г.
Выходит 6 раз в год на русском языке

Խ Մ Ր Ա Գ Ր Ա Վ Ա Ն Չ Ա Ը Ե Գ Ի Ա

Խ. Մ. Մառտիրոսյան (պատմափոփոխական խմբագիր), Վ. Վ. Սիմեոնյան,
Խ. Վ. Արսյան, Խ. Ա. Ղազարյան, Ս. Մ. Ղազարյան, Մ. Վ. Կասյան,
Ա. Շ. Սահակյան, Յու. Լ. Սարգսյան, Ի. Դ. Ստակյան (պատ. խմբ. տեղ.),
Չ. Կ. Ստեփանյան (պատմափոփոխական քարտեզագիր), Վ. Ս. Խաչատրյան

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Դ. Մ. Մարտիրոսյան (ответственный редактор), В. В. Алексеевский,
Р. В. Атоян, Р. А. Казарян, С. М. Казарян, М. В. Касьян,
А. О. Саакян, Ю. Л. Саркисян, М. Г. Стакин (зам. ответ. редактора),
З. К. Степанян (ответственный секретарь), В. С. Хачатурян.

УДК 629.3:534.1

Г. Л. АРТЕМЯН, Г. Г. ШЕКЯН, Л. А. ТУМАНЯН, В. В. ГРЕМЯН

КОЛЕБАНИЕ ПЛАСТИНЧАТОЙ СИСТЕМЫ
С ПРИСОЕДИНЕННЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Рассматривается колебание системы из двух параллельных пластин, жестко зашпандоренных по наружным контурам к неподвижному фундаменту и упруго соединенных по внутренним контурам с абсолютно жестким элементом. Решение задачи при помощи операторного метода относительно нелинейных упругих элементов.

На 2 Виброметр 1 лист

Պատկերված է երկու զուգահեռ առկառն սուրճիկ տարածման խնդիր: Ուսուրբ արտաքին եզրագծով կոշտ ածրակված են շարժման օբյեկտը, իսկ ներքին եզրագծով՝ արտաքին կոշտ մարմնին: Դրան խնդիր լուծված է օպերատոր ածրակարգման եւ ոչ գծային սուրճիկի նկատմամբ խառնարան մեթոդների պնդությամբ:

Динамическая модель электрической машины при аксиальных колебаниях представляет собой две параллельные кольцевые пластины, имитирующие подшипниковые шты и жестко зашпандоренные по наружным контурам к станине (рис. 1). При помощи линейного C_k и нелинейного C_n элементов присоединенная масса 3 симметрично соединена с внутренним контуром пластин 1 и 2, причем, C_k — упругая характеристика пружины осевого поджатия, а C_n — упругая характеристика подшипника качения в аксиальном направлении. Согласно [1] упруго-восстанавливающая сила подшипника качения имеет вид

$$F_{\text{ш}} = C_n \delta^3,$$

где δ — относительное смещение колец подшипника в осевом направлении.

Включение упругой силы в том виде в уравнение движения системы не может обеспечить колебательный характер движения из-за переменности знака δ . Для обеспечения условия колебания системы восстанавливающая сила упругости должна иметь знакопеременный характер, а с изменением направления движения должно изменяться и направление силы упругости связи. Это условие может быть выполнено, если силу упругости подшипника представить в виде

$$F_{\text{ш}} = C_n \delta |\delta| \quad (1)$$

Пусть через места крепления система получает внешнее возмущение в перемещениях, описываемое через функцию $f(t)$. Колебание системы будет описываться уравнениями

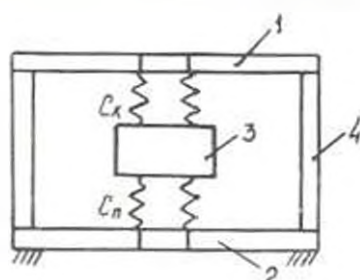


Рис. 1. Динамическая модель электрической машины при аксиальном колебании: 1 — задний подшипниковый шты, 2 — передний подшипниковый шты, 3 — ротор, 4 — корпус.

$$\begin{cases} \Delta^2 W + \frac{q_1}{D_1} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0, \\ \Delta^2 V + \frac{q_2}{D_2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 0, \\ m\ddot{x} + 2\pi a_1 Q_1|_{r=a_1} + 2\pi a_2 Q_2|_{r=a_2} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где W , Q_1 , a_1 и V , Q_2 , a_2 — прогибы, перерезывающие силы и радиусы внутренних контуров соответственно передней и задней пластин; q_1 , D_1 , q_2 и D_2 — постоянные, зависящие от упругих характеристик материала и толщины пластин; m — масса элемента 3.

Дополним эти уравнения граничными условиями для пластины: по наружным контурам пластины зашпелены к элементу 4 [2] —

$$\begin{aligned} W|_{r=b_1} = V|_{r=b_2} = f(t), \\ \frac{\partial W}{\partial r} \Big|_{r=b_1} = \frac{\partial V}{\partial r} \Big|_{r=b_2} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где B_1 , B_2 — радиусы наружных контуров передней и задней пластин; по внутренним контурам пластины упруго зашпелены к элементу 3 в аксиальном направлении и шарнирно оперты в радиальном направлении —

$$\begin{aligned} 2\pi a_1 Q_1|_{r=a_1} + F(t) &= 0, \\ 2\pi a_2 Q_2|_{r=a_2} + C_K (V|_{r=a_2} - x) &= 0, \\ M_1|_{r=a_1} = M_2|_{r=a_2} &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где с учетом (1): $F(t) = C_n (W|_{r=a_1} - x) | W|_{r=a_1} - x |$; M_1 , M_2 — изгибающие моменты в произвольном сечении передней и задней пластин.

Из граничных условий (3) и (4) следует, что движение точек пластины не зависит от угловой координаты и поэтому прогибы пластины будем искать в виде $W = W(r, t)$, $V = V(r, t)$. Линеаризуя первое граничное условие (4)

$$2\pi a_1 Q_1|_{r=a_1} + \alpha C_n (W|_{r=a_1} - x) (\max |W|_{r=a_1} - x|^{1/2}) = 0, \quad (5)$$

где $\alpha = (2\sqrt{2} + 1)3\sqrt{2}$, и требуя от функции возмущения удовлетворения условию Дирихле, с помощью преобразований Лапласа системе уравнений (2) представим в оперативной форме

$$\begin{cases} \Delta^2 W_0 + \chi_1^2 W_0 = 0, \\ \Delta^2 V_0 + \chi_2^2 V_0 = 0, \\ p^2 m x_0 + 2\pi a_1 Q_{01}|_{r=a_1} + 2\pi a_2 Q_{02}|_{r=a_2} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где $\chi_1^2 = q_1 p^2 / D_1$, $\chi_2^2 = q_2 p^2 / D_2$, p — оператор Лапласа, а индекс „0“

означает операторный вид функций. Решение системы (6) представим в виде комбинации функций Кельвина нулевого порядка [3]

$$\begin{aligned} W_0 &= A \operatorname{ber}(x_1 r) + B \operatorname{bei}(x_1 r) + C \operatorname{ker}(x_1 r) + D \operatorname{kei}(x_1 r), \\ V_0 &= A \operatorname{ber}(x_2 r) + B_0 \operatorname{bei}(x_2 r) + C_0 \operatorname{ker}(x_2 r) + D_0 \operatorname{kei}(x_2 r). \end{aligned} \quad (7)$$

Пронизводя преобразование Лапласа в уравнениях (3) — (5) и взяв их с третьим уравнением системы (6), приходим к системе с девятью нелинейными уравнениями в операторной форме. Решение этой системы производится итерационным методом. Выбираются некоторые значения $\{t_n\}$, входящие в исследуемый интервал времени воздействия внешней нагрузки, и подстановкой значения $x_0(p)$ из третьего уравнения системы (6) в (5) приходим к системе из восьми уравнений. Производя формальное обратное преобразование полученных уравнений приближенным методом Паулика [4] для конкретного значения времени t_1 и задаваясь произвольным значением неопределенного коэффициента A , из семи линейных уравнений определяем остальные неопределенные коэффициенты. На основании этих коэффициентов из (6) определяем $X(t)$. Подставляя значения $X(t)$ и неопределенных коэффициентов в уравнение (5), кроме значения A , в множитель нелинейного члена

$$\max |W(a_1, t) - x(t)|^2, \quad (8)$$

определяется новое значение A , которое принимается за начальное. Итерация повторяется до тех пор, пока полученное значение для A не совпадает с задаваемым значением A . На основе полученных значений неопределенных коэффициентов вычисляются и значений выражения $|W(a_1, p) - x_0(p)|$ в точках $\{t_n\}$. Если окажется, что это выражение получило свое максимальное значение в момент времени t_1 , то полученные неопределенные коэффициенты будут искомыми, а если же максимальное значение получается в другой момент времени t_2 , то аналогичная процедура повторяется для этого момента времени.

Как показывают расчеты на ЭВМ, максимальное значение выражения (8) получает в точках, близких длительности ударного импульса и в конце полупериода для вибрационных нагрузок.

Результаты расчета для двигателей габарита 56 приведены на рис. 2 в виде графика зависимости $K_1 = \max |W(a_1, t) - x(t)|$ от амплитуды внешней вибрационной нагрузки A , на частоте возмущения 650 Гц. Как видно, при малых A ($A < 4$) наблюдается некоторая неустойчивость, обусловленная конкретными значениями характеристик системы. Область неустойчивых решений характерна для систем с не-

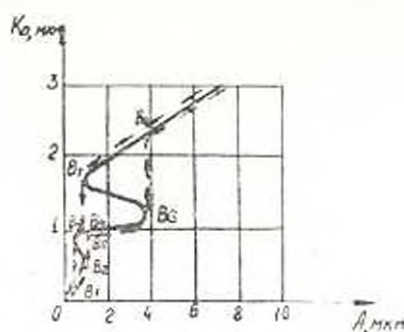


Рис. 2. Зависимость амплитуды относительного перемещения K_1 от амплитуды внешней нагрузки.

линейно восстанавливающей силой [1]. При увеличении нагрузки в зоне OB_8 изменение относительного перемещения элемента 3 будет следовать по стрелкам сплошной линии и срыв колебаний произойдет в точках B_2 , B_4 и B_6 , B_8 соответственно. При уменьшении амплитуды колебаний внешней нагрузки изменение относительного перемещения элемента 3 будет следовать по стрелкам пунктирной линии и срыв колебаний произойдет в точках B_2 , B_4 и B_6 , B_8 . Срывы колебаний в окрестности указанных точек были обнаружены также экспериментально.

Таким образом, решение системы (2) показывает существенно влияние нелинейной восстанавливающей силы на срывы и последующие переходы в новое стационарное состояние элемента 3 при внешнем возмущении на фиксированных частотах. Аналогичные зоны устойчивости и неустойчивости были наблюдаемы при исследовании колебательного состояния элемента 2. Указанные результаты были использованы для оптимального выбора жесткостей конструктивных элементов асинхронных двигателей серии АИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носовик Э. Л., Нырков А. Л. Нелинейные колебания статически нагруженных несбалансированных роторов на подшипниках качения // *Машиностроение*. — 1975. — № 3. — С. 13—19.
2. Фельдман А. И. Колебания деформируемых систем. — М.: Машиностроение, 1970. — 718 с.
3. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами. Под ред. М. Абломозина и Н. Стигмэ. — М.: Наука, 1979. — 564 с.
4. Л. Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z -преобразования. — М.: Наука, 1971. — 288 с.

НИИ электромаш

8 III 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI, III, № 2, 1990, с. 54—60

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 699.841

В. А. АМВАРЦУМЯН, А. Г. АБОВЯН

КОЛЕБАНИЯ ПЕРЕКРЫТИЙ, ОПИРАЮЩИХСЯ НА ТОЧЕЧНЫЕ ОПОРЫ И ИМЕЮЩИХ КВАДРАТНЫЕ ОТВЕРСТИЯ

Рассмотрены свободные колебания перекрытий в виде квадратных пластин со свободными краями, опирающихся на симметрично расположенные точечные опоры и имеющих квадратные отверстия. Для решения задачи применены уравнения Лагранжа второго рода. Получены зависимости безразмерной частоты колебаний пластинки от координат расположения точечных опор и размеров симметрично расположенных квадратных отверстий.

На 3 иллюстрац. 4 табл.

Դիտարկել են ազատ եզրեր ունեցող և կիսաշին հենարանների վրա լինված շաղա-
կուի սալերի ազատ տատանումները: Խնդրի լուծման համար կիրառվել են Հադամարի երկ-
րորդ սնորի հավասարումները: Մտացվել են սալի ազատ տատանման շիմնական հաճախու-
թյան կախվածությունները կիսաշին հենարանների կոորդինատներից և համալսվի դասավոր-
ված շաղախուի անցքերի չափերից:

Свободные колебания перекрытий, представляющих квадратные пластины со свободными концами и опирающимися на точечные опоры, рассмотрены в работах [1, 2]. Указанные задачи обычно последуются применением приближенных методов — Рунге, Гауэркина, конечных разностей, конечных элементов и др. Одним из наиболее удобных в вычислительном отношении и возможностей решения задач с сложными граничными условиями является метод, основанный на применении уравнений Лагранжа в сочетании с использованием условий связи, учитываемых с помощью множителей Лагранжа [2]. В работе [2] этим методом получены значения частот симметричных вертикальных колебаний квадратных пластин в случае, когда четыре симметричные жесткие опоры находятся на диагоналях.

Ниже, используя методику применения множителей Лагранжа, исследованы свободные колебания пластины с точечными опорами. Рассмотрены следующие вопросы: а) получение зависимостей первых частот колебаний квадратных пластин с свободными концами от координат произвольно-симметрично расположенных точечных опор. Определение локальных и абсолютных экстремумов основных частот свободных колебаний в зависимости от расположения опор: б) исследование свободных колебаний пластины с точечными опорами, имеющих симметричные квадратные отверстия.

Определение частот свободных колебаний пластин перекрытий с точечными опорами представляет интерес с точки зрения разработки методов динамического или сейсмического расчета, в которых используются разложения по собственным формам колебаний. Несколько отличная от рассматриваемой методика определения частоты основного тона свободных колебаний шарнирно-опертых пластины с отверстиями представлена в [3, 4]. Рассмотрим свободные колебания пластины, кинематическая энергия которой равна

$$K = \frac{1}{2} \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-a/2}^{a/2} \rho \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)^2 dx dy, \quad -\frac{a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2}, \quad -\frac{b}{2} \leq y \leq \frac{b}{2}, \quad (1)$$

где ρ — масса единицы площади, a, b — размеры пластины в плане, $W(x, y, t)$ — перемещение пластины, которое принимается в виде

$$W(x, y, t) = \sum_{n=0}^{\infty} q_n(t) \phi_n(x, y), \quad (2)$$

где $\phi_n(x, y)$ — форма колебаний пластинки без внешних связей, $q_n(t)$ — обобщенная координата. Интегрирование производится по всей площади пластинки, а если имеется отверстие, то его исключают

при этом. Подставляя (2) в (1) и учитывая ортонормированность принятых функций $\varphi_n(x, y)$, получаем

$$K = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{dq_n}{dt} \right)^2 M_n, \quad \text{а} \quad M_n = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-a/2}^{a/2} \varphi_n^2(x, y) dx dy. \quad (3)$$

Потенциальная энергия пластины, учитывая ортонормированность функций $\varphi_n(x, y)$, представляется в виде

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \omega_n^2 q_n^2(t) M_n. \quad (4)$$

Так как пластина оперта в отдельных точках, то функция $W(x, y)$ должна удовлетворить условиям

$$W(x_k, y_k) = \sum_{n=0}^{\infty} q_n(t) \varphi_n(x_k, y_k) = \sum_{n=0}^{\infty} q_n(t) \beta_{kn} = f_k = 0, \quad (5)$$

$$k = 1, 2, \dots, N.$$

Составляем функцию Лагранжа L

$$L = K - \Pi + \sum_{k=1}^N \lambda_k f_k, \quad (6)$$

где λ_k — множители Лагранжа, а уравнения Лагранжа имеют вид [2]

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_n} - \frac{\partial L}{\partial q_n} = 0, \quad n = 1, 2, \dots, R, \quad (7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

Совместно решая (3) — (7), получаем

$$M_n [\ddot{q}_n + \omega_n^2 q_n] - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta_{kn} = 0, \quad f_k = 0. \quad (8)$$

Так как имеют место гармонические колебания с частотой ω , то можно принять, что

$$q_n = \bar{q}_n e^{i\omega t}, \quad \lambda_k = \bar{\lambda}_k e^{i\omega t}, \quad (9)$$

следовательно,

$$\bar{q}_n = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{\lambda}_k \beta_{kn}}{M_n [-\omega^2 + \omega_n^2]}. \quad (10)$$

Подставляя во второе уравнение (8), получаем

$$\sum_{k=1}^N \bar{\lambda}_k G_{kn} = 0, \quad G_{kn} = \frac{\beta_{kn} \beta_{kn}}{M_n [-\omega^2 + \omega_n^2]}, \quad (11)$$

$$n = 1, 2, \dots, R.$$

Приравнявая определитель, составленный из коэффициентов $\bar{L}_k$, к нулю, уравнение частот получаем в виде

$$|C_{kv}| = 0, \quad k, v = 1, 2, \dots, R. \quad (12)$$

С помощью (12) определены собственные частоты симметричных колебаний квадратной пластины, опирающейся на четыре жесткие опоры (из-за симметричности задачи $R = 1$). Формы колебаний ψ_n и безразмерные частоты ω_n свободной пластины имеют вид [2]

$$\begin{aligned} \psi_1(x, y) &= 1, & -\frac{1}{2} \leq \frac{x}{a} \leq \frac{1}{2}, & \quad \omega_1 = 0, \\ \psi_2(x, y) &= Y_2(y) - X_2(x), & \omega_2 &= \frac{20,5}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}, \\ \psi_3(x, y) &= Y_2(y) + X_2(x), & -\frac{1}{2} \leq \frac{y}{b} \leq \frac{1}{2}, & \quad \omega_3 = \frac{23,9}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}, \\ \psi_4(x, y) &= Y_2(y) X_2(x), & & \\ & -X_2(x) = 0,9913 \cos 2k_2 \frac{x}{a} - 0,13169 \operatorname{ch} 2k_2 \frac{x}{a}, & \omega_4 &= \frac{66}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Используя условия (13), определяем значения M_0, M_2, M_{11}, M_{22} , а затем и частоты свободных колебаний из уравнения $|C_{11}| = 0$. На рис. 1, 2 показаны зависимости безразмерной частоты основного тона колебаний квадратной пластины $\omega_1 a^2 \sqrt{\frac{m}{D}}$ от координат точечной

опоры $\frac{x_c}{0,5a}$ и $\frac{y_c}{0,5b}$. Графики построены на основании результатов, полученных при учете в формуле (11) четырех членов ($N = 4$). Чтобы показать скорость сходимости результатов, получены также частоты для случая $N = 2$ и 3, которые подтверждают это положение при $N = 3$ и $N = 4$ и указывают на удовлетворительную точность полученных результатов. Из рис. 1, 2 следует также, что частота основного тона колебаний имеет максимум в зависимости от координат опор, которые можно определить аналитически. С учетом только двух форм $N = 2$ из (12) можно получить частоту колебаний, имеющий вид

$$\omega = 23,9 \{1 + 1,0176 [X_2(x_c) + Y_2(y_c)]^2\}^{-\frac{1}{2}}. \quad (14)$$

Условия экстремума $\frac{\partial \omega}{\partial x_c} = 0, \quad \frac{\partial \omega}{\partial y_c} = 0$ приводят к следующему результату: $X_2(x_c) = 0$ при $x_c = y_c$. Таким образом, в первом приближении получено, что максимум частоты имеет место в случае, когда опоры находятся на диагонали, а координата опоры совпадает с нулевой точкой, принятой кривой $X_2(x)$ (13). Уточнение этого результата получается увеличением количества учитываемых форм колебаний. При $N = 4$ получено, что максимумы частоты при

$\frac{y_c}{0,5a} = 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4$ и $0,5$ соответствуют $\frac{x_c}{0,5a} = 0,255, 0,265, 0,27, 0,28, 0,29$ и $0,34$, а абсолютный максимум соответствует случаю $\frac{x_c}{0,5a} = \frac{y_c}{0,5a} = 0,28$.

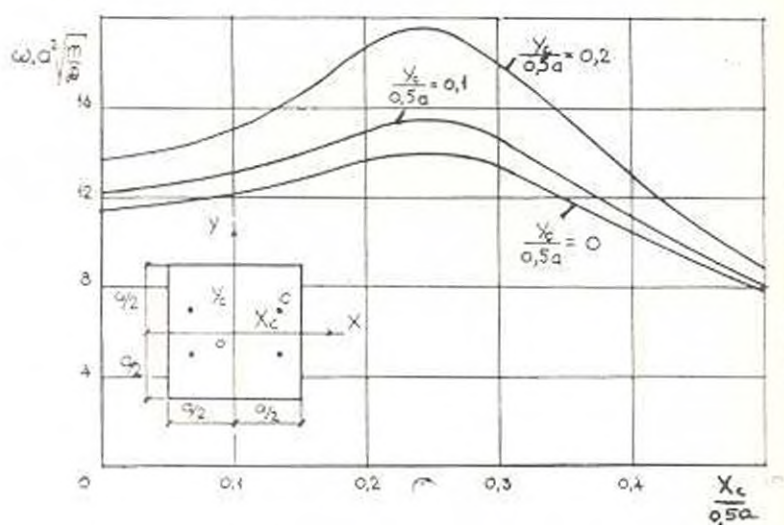


Рис. 1. Зависимости безразмерной частоты основного тона пластины от координат точечной опоры ($\frac{y_c}{0,5a} = 0, 0,1$ и $0,2$).

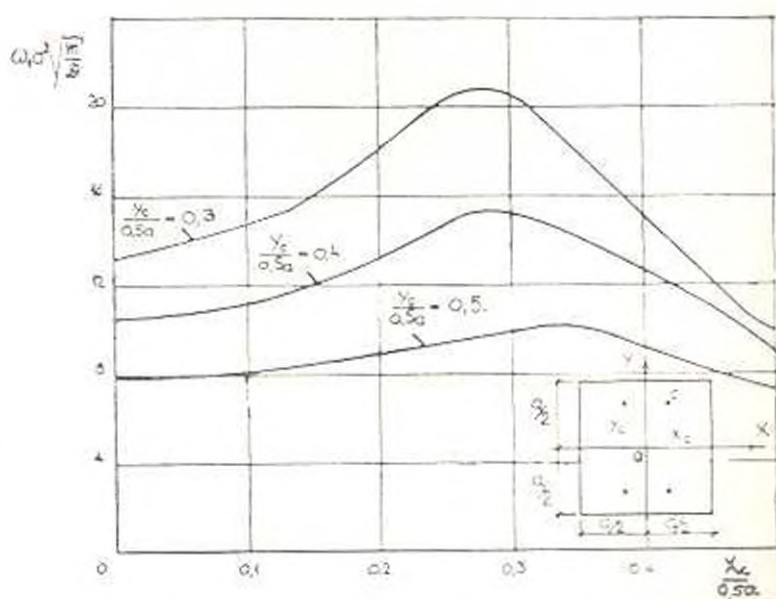


Рис. 2. Зависимости безразмерной частоты основного тона пластины от координат точечной опоры ($\frac{y_c}{0,5a} = 0,3, 0,4$ и $0,5$).

Теперь рассмотрим колебания квадратной пластины, опирающейся на точечные опоры и имеющей квадратное симметричное отверстие. Частоты колебаний в этом случае определяются с помощью той же формулы (12), но выражение M_{11} , входящее в (3), определяется

$$M_{11} = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-a/2}^{a/2} \varphi_{11}^2(xy) dx dy = \int_{-y_0}^{y_0} \int_{-x_0}^{x_0} \varphi_{11}^2(xy) dx dy, \quad (15)$$

где $2x_0$, $2y_0$ — размеры отверстия. Вычислены и на рис. 3 построены зависимости безразмерных частот пластины от координат опор (при $x_0 = y_0$) при различных размерах отверстий. Во всех рассмотренных случаях наличие отверстия приводит к уменьшению основной частоты по сравнению со случаем сплошной пластины. Степень уменьшения частоты зависит как от размера отверстия, так и места расположения точечных опор. Так, например, при координатах опор $\frac{x_c}{0,5a} = \frac{y_c}{0,5a} = 0,3$ и размерах отверстий $\frac{x_0}{0,5a} = \frac{y_0}{0,5a} = 0,1, 0,2$ и $0,25$ безразмерная частота уменьшается соответственно на $0,4\%$, $2,2\%$ и $3,5\%$, а при $\frac{x_c}{0,5a} = \frac{y_c}{0,5a} = 0,5$ и $\frac{x_0}{0,5a} = \frac{y_0}{0,5a} = 0,1, 0,2$ и $0,25$ — $4,3\%$, 21% и $28,6\%$.

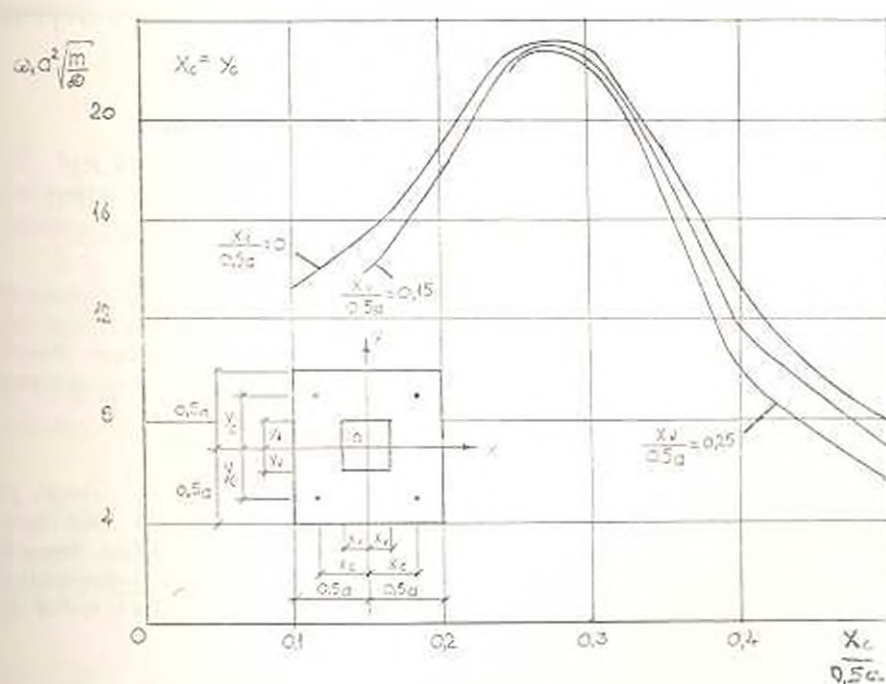


Рис. 3. Зависимости безразмерной частоты основного тона пластины, имеющей квадратное отверстие, от координаты точечной опоры.

Таким образом, предложенный ранее в [2] метод, основанный на применении уравнений и множителей Лагранжа, распространен и на случай наличия отверстий и перекрытий. Исследованы зависимости частот вертикальных колебаний перекрытий от расположения точечных опор и размеров отверстий. Полученные результаты могут быть применены при динамическом и сейсмическом расчетах сооружений промышленного, общественного или другого назначения, имеющих безбалочные перекрытия без внешних стен для опирания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цо Н. Основная частота свободных колебаний упругой квадратной пластинки, опертой в четырех точках // Ракетная техника и космонавтика. — 1966. — № 4. — С. 225—227.
2. Лаурел Е. Свободные колебания линейно деформируемой конструкции при произвольных условиях опирания // Тр. Амер. Обш. инж.-мех. Сер. Е. Прикл. мех. — 1971. — № 3. — С. 17—23.
3. Колебания и устойчивость многовязных тонкостенных систем / Сб. ст. под ред. И. И. Преображенского. — М.: Мир, 1984. — 311 с.
4. Преображенский И. И. Устойчивость и колебания пластинок и оболочек с отверстиями — М.: Машиностроение, 1981. — 191 с.

ЕрПН им. К. Маркса

28. XII. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. Техн.), т. XLIII, № 2, 1990, с. 60—65

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.071.133.046.3

Г. А. ГЕННЕР, А. Ф. МИХАСЯН

О ФОРМАХ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ДВИЖЕНИИ В НИХ ПОТОКА ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Для цилиндрических оболочек из физически нелинейных материалов с произвольной диаграммой работы получено выражение для критической скорости внутреннего потока идеального газа, соответствующей поперечной потере устойчивости оболочки. Рассмотрены условия образования устойчивых форм равновесия системы оболочка — поток «бляшка» и «спазма».

Изл. 3. Библ. лит.: 2 назв.

Աշխատանքի կամայական զիջողամբ ֆիզիկական ոչ զրանին նյութերից պրանային թափանցանքների համար ստացված է արտահայտություն իդեալական գազի ներքին շարժի կրիտիկական արագության համար, որը համապատասխանում է թափանքի կայունության կորուստին նախքան են թափանքի նույն համակարգի բյուրացումը և սկզբում կարող հախառնակողության մեծերի ղոյացման պայմանները ճանաչողման է կրիտիկական արագության արժեքի վրա սկզբնական մեծան տարբեր աղեղցության սահմանը:

Тонкостенные цилиндрические оболочки при протекании в них потока жидкости или газа при определенных значениях его скорости мо-

гут потерять поперечную устойчивость. В настоящей статье получено выражение для критической скорости идеального газа, протекающего в безэлементной круговой цилиндрической оболочке из физически нелинейного материала. Критическая скорость газа $V_{кр}$ соответствует разветвлению исходной формы равновесия оболочки, определяемой начальным абсолютным p_0 или избыточным $(p_0 - p_a)$ давлением, отвечающим ему радиусом поперечного сечения оболочки r_0 и относительной деформацией стенок ε_0 .

Найдем значение критической скорости потока, используя для этого метод малых возмущений системы. Установим для оболочки и потока явную зависимость между текущими значениями избыточного давления в потоке газа $(p - p_0)$, относительной деформацией стенок оболочки ε и ее радиуса r . Очевидно, что

$$\varepsilon = (r - r_0)/r_0, \quad (1)$$

где r_0 — радиус, соответствующий нулевому избыточному давлению $(p = p_0)$, а p_a — наружное давление.

Если на входе потока в оболочку задать постоянное давление $(p_0 - p_a)$, вызывающее деформацию ее стенок ε_0 , то на основании (1)

$$r_0 = r_{00}(1 + \varepsilon_0). \quad (2)$$

Будем считать движение газа в процессе смены формы равновесия системы близким к установившемуся, для которого может быть использован интеграл Бернулли, имеющий для адиабатического потока вид [2]

$$\frac{v^2}{2} + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p}{\rho} = \frac{v_0^2}{2} + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0} = \text{const}, \quad (3)$$

где v и v_0 — скорости потока газа соответственно при r и r_0 , ρ — плотность газа, k — показатель адиабаты, равный отношению его теплоемкостей при постоянных давлении и объеме (для воздуха $k \approx 1,4$).

Для адиабатического потока идеального газа зависимость между давлением p и плотностью ρ имеет вид

$$p/p_0 = (\rho/\rho_0)^k, \quad (4)$$

а условие неразрывности одномерного потока газа может быть записано в виде

$$\rho_0 v_0 r_0^2 = \rho v r^2. \quad (5)$$

Подставляя в уравнение (3) выражение для V из (5), а также имея в виду (4), для потока получаем неявную функциональную зависимость p от r в виде

$$(p/p_0)^{(k-1)/k} = (k-1) M_0^2 [1 - (p_0/p)^{1/k} r_0^4/r^4]/2, \quad (6)$$

где $M_0 = V_0/a_0$ — число Маха для первоначальной формы движения потока газа, $a_0 = \sqrt{k p_0/\rho_0}$ — скорость звука.

Для цилиндрической оболочки справедлива зависимость

$$p - p_0 = \delta(\epsilon) \delta_0 r, \quad (7)$$

где $\delta(\epsilon)$ — кольцевое напряжение в стенке, а δ_0 — ее толщина.

Очевидно, что реакции оболочки и потока жидкости на бесконечно малые изменения радиуса в их поперечных сечениях можно определить, сравнивая значения dp/dr для оболочки и потока. При $(dp/dr)_{r_0} > (dp/dr)_0$ имеет место устойчивая форма равновесия системы, а при $(dp/dr)_{r_0} < (dp/dr)_0$ — неустойчивая. Условие

$$(dp/dr)_{r_0} = (dp/dr)_0 \quad (8)$$

соответствует критическому состоянию системы.

Из зависимостей (6) и (7) для первоначальной формы движения потока при $p = p_0$ и $r = r_0$ соответственно получим

$$(dp/dr)_{r_0} = 2kp_0 M_0^2 r_0 (1 - M_0), \quad (dp/dr)_0 = [mz'(z_0) - (p_0 - p_0)] r_0,$$

где $m = \delta_0/r_0$.

Из условия (8) находим

$$M_{кр}^2 = [mz'(z_0) - (p_0 - p_0)] / [mz'(z_0) - (2k - 1)p_0 + p_0], \quad (9)$$

$$V_{кр} = a_0 V [mz'(z_0) - (p_0 - p_0)] / [mz'(z_0) - (2k - 1)p_0 + p_0]. \quad (10)$$

Очевидно, что $M_{кр} < 1$ и $V_{кр} < a_0$. При достижении или превышении скоростью газа значения, определяемого выражением (10), возможно образование смежных форм равновесия системы оболочка—поток «бляшки» и «спазма» [1].

Рассмотрим некоторые качественные и количественные особенности кривых возможных равновесных состояний системы оболочка—поток при $M_0 > M_{кр}$. Анализ уравнения состояния системы (6) показывает, что для различных видов функции $\delta(\epsilon)$ зависимость M_0^2 от ϵ может иметь качественно различный характер. Прямая 1 на рис. 16—36 отмечает первоначальной форме движения потока, а условие $\epsilon = \epsilon_0$ тождественно удовлетворяет уравнению (6) при любых значениях M . Эта форма равновесия является устойчивой в диапазоне $M_0 < M_{кр}$ ($V_0 < V_{кр}$). В точке А (при $M_0 = M_{кр}$) происходит разветвление форм равновесия системы и при $M_0 > M_{кр}$ первоначальная форма движения потока становится неустойчивой.

Кривая 2 определяется уравнением (6) при $\epsilon \neq \epsilon_0$ и отмечает устойчивым формам равновесия системы оболочка—поток. В зависимости от вида диаграммы σ — ϵ кривая 2 может располагаться как в соответствии с рис. 16—(AB'), так и рис. 36—(AГ').

Если в некоторой точке А участка неустойчивого равновесия при прямой 1, для которого $M_0 > M_{кр}$, приложить к оболочке внешнее осесимметричное малое возмущение, то произойдет скачкообразное изменение физико-геометрических параметров системы, а именно величина

ϵ , r , p , ρ и V . В том случае, если кривая 2 имеет вид AB' (рис. 1 б), то при малом возмущении, обеспечивающем $d\epsilon > 0$, $dr > 0$ (образование «бляшки»), новое значение $\epsilon = \epsilon'$ определится абсциссой точки B' , ордината которой соответствует точке A' , и «бляшка» имеет устойчивую форму равновесия. При $d\epsilon < 0$, $dr < 0$ (образование «спазма») устойчивой формы последней не будет.

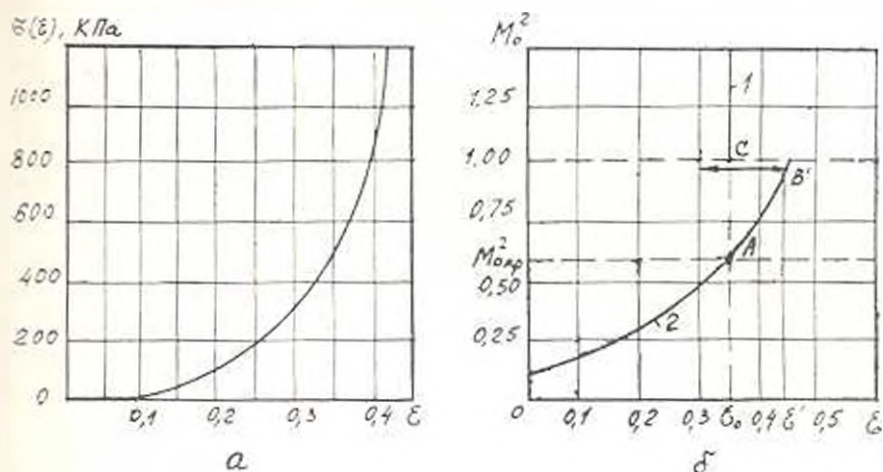


Рис. 1.

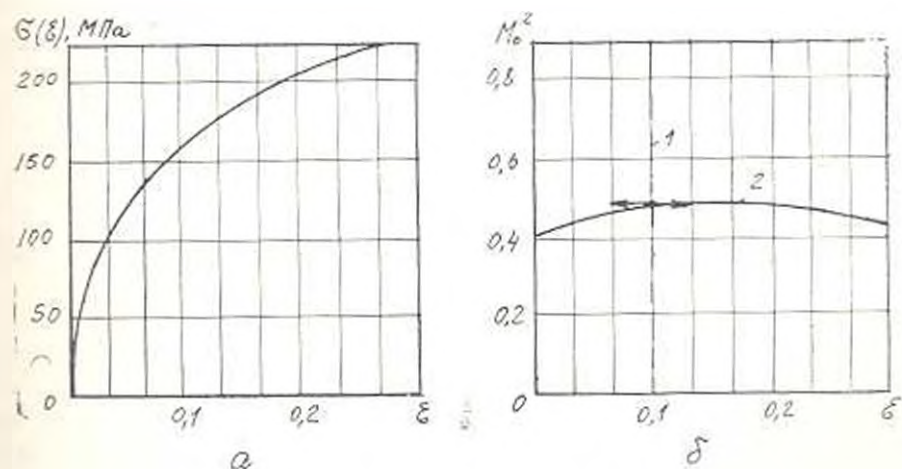


Рис. 2.

В том случае, если кривая 2 имеет вид AB'' (рис. 3 б), при малом возмущении, обеспечивающем $d\epsilon < 0$, $dr < 0$ (образование «спазма»), новое значение $\epsilon = \epsilon''$ определится абсциссой точки B'' , ордината которой также соответствует точке A' , и «спазм» имеет устойчивую форму равновесия. Если же $d\epsilon > 0$, $dr > 0$ — устойчивой формы «бляшки» не будет.

Критерий соответствия материала оболочки тому или иному из двух указанных выше случаев расположения кривой 2 может быть установлен на основании (1), (2) и (6) из очевидных условий

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{dM_0^2}{d\epsilon} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{d}{d\epsilon} \left| \frac{[p(\epsilon) p(\epsilon_0)]^{(k-1)/k} - 1}{1 - [p(\epsilon_0) p(\epsilon)]^{2/k} [(1 - \epsilon_0)(1 - \epsilon)]^k} \right| \gg 0 \quad (11)$$

В случае, когда при любых ϵ

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{dM_0^2}{d\epsilon} \equiv 0, \quad (12)$$

линия 2, определяемая выражением (6), представляет собой в координатах ϵ, M_0^2 горизонтальную прямую, характеризуемую уравнением $M = M_{\text{огр}}$. При $M < M_{\text{огр}}$ система оболочка-поток, как всегда является устойчивой. При $M > M_{\text{огр}}$ ни "бляшка", ни "спазм" устойчивых форм равновесия не имеют. Диаграмма зависимости ϵ от ϵ , удовлетворяющая условию (11), отвечает границе смены устойчивых форм равновесия для "бляшки" и "спазма".

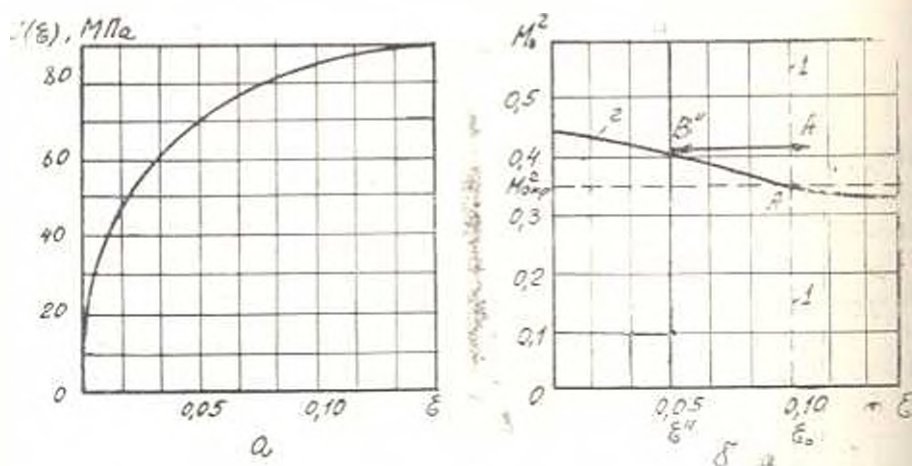


Рис. 3.

На рис. 2 а представлен график зависимости ϵ от ϵ для меди $\sigma(\epsilon) = 350\epsilon^{1/2}$ МПа. При $m = 0.01$, $p_0 = 100$ кПа, $k = 1.4$, $\rho_0 = 1.8$ кг/м³, $\epsilon_0 = 0.1$ на основании (2), (6) и (7): $p_0 = 1580$ кПа, $M_{\text{огр}}^2 = 0.472$, $M_{\text{огр}} = 0.687$, $a_0 = 1/\sqrt{k\rho_0 p_0} = 1100$ м/с, $V_{\text{огр}} = a_0 M_{\text{огр}} = 760$ м/с. При $\epsilon = 0.2$, $p = 1800$ кПа и на основании (10): $M_0^2 = 0.472$, $M_0 = 0.687$, а при $\epsilon = 0.05$, $p = 1330$ кПа — $M_0^2 = 0.444$, $M_0 = 0.666$.

Таким образом, линия 2, определяемая уравнением (6), в координатах ϵ, M_0^2 почти горизонтальная (рис. 2 б). В этом случае при $M_0 > M_{\text{огр}}$ ни "бляшка", ни "спазм" устойчивых форм равновесия не имеют.

График, представленный на рис. 1 а, построен для материала органического происхождения: $\varepsilon(\varepsilon) = 3,5 \cdot 10^4$ кПа. При $m = 0,1$, $p_0 = 10^3$ кПа, $k = 1,4$, $p_0 = 1,8$ кг/м³ и $\varepsilon_0 = 0,35$, $p_0 = 140$ кПа — $M_{\text{кр}}^1 = 0,596$, $M_{\text{кр}} = 0,772$, $a_0 = 330$ мс, $V_{\text{кр}} = 255$ мс, а при $\varepsilon = \varepsilon^* = 0,45$, $p = 200$ кПа — $M_0^1 = 0,978$, $M_0 = 0,989$. В этом случае кривая 2, определяемая уравнением (6), проходит по линии АВ (рис. 1 б), „бляшка“ ($d\varepsilon > 0$) имеет устойчивую форму равновесия, а „спазм“ ($d\varepsilon < 0$) — неустойчивую.

График на рис. 3 а построен для алюминия: $\varepsilon(\varepsilon) = 150\varepsilon^2$ мПа. Для цилиндрической оболочки из этого материала: $m = 0,01$, $p_0 = 100$ кПа, $k = 1,4$, $p_0 = 1,8$ кг/м³, $\varepsilon_0 = 0,1$, $p_0 = 840$ кПа, $M_{\text{кр}}^1 = 0,356$, $M_{\text{кр}} = 0,596$, $a_0 = 820$ мс, $V_{\text{кр}} = 487$ мс. При $\varepsilon = \varepsilon^* = 0,05$, $p = 745$ кПа — $M_0^1 = 0,392$, $M_0 = 0,626$. Кривая 2, определяемая уравнением (6), проходит по линии АВ (рис. 3 б) и при $d\varepsilon < 0$ образуется „спазм“, который имеет устойчивую форму равновесия, а „бляшка“ ($d\varepsilon > 0$) в этом случае устойчивой формы равновесия не имеет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генцев Г. А. Поперечная устойчивость замкнутых цилиндрических оболочек при движении в них потока идеального газа // Строит. механика и расчет сооружений. — 1986. — № 4. — С. 36—39.
2. Лойцкинский Л. Г. Механика жидкости и газа — М.: Наука, 1970. — 904 с.

ЦНИИСК им. Кучеренко

25.11.1989

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 2, 1990, с. 66—70

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.3.06.001.2:66.011.5:658.511

К. Х. ГАЛФЯН, Г. Г. АРУНЯНЦ, Е. А. ШАРБХАНЫ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приведены результаты разработки алгоритмического и программного обеспечения подсистемы автоматизированного анализа и выбора оптимальной структуры организации производства химической технологии на стадии формирования технико-экономического обоснования на основании данных описания. Изложен метод определения числа и оптимальных единичных мощностей агрегатов проектируемого производства.

Пл. 1. Библиогр., 2 назв.

Կերպարվում են բիբլիոգրաֆիկա-ալգորիթմական և ծրագրային ապահովման համակարգի մոդելները և քանակական և որակական հիմնարկային անվանակարգի ալգորիթմային և ծրագրային ապահովման մոդելները արդյունքները ենթարկվող տեղեկման տեխնիկա-տեղեկական հիմնարկային համակարգի կազմակերպմանը: Բնութագրվում է նախաձեռն արդյունաբերական տարածքային մոդելի և համակարգի ծրագրային ապահովման հիմնարկային մոդելը:

(55)

В условиях научно-технического прогресса в химической промышленности решение проблемы увеличения объемов выпуска важнейших химических продуктов наряду с интенсификацией действующих производств связано с проектированием новых мощностей. Эффективность решения этой проблемы связана с использованием принципов системного подхода и современной вычислительной техники при решении на стадии ТЭО взаимосвязанных вопросов: выявления потребности в сырье, материалах и других ресурсах и оценка возможности их удовлетворения; выбора способа и основных решений по аппаратурно-технологической структуре производства; решения вопросов размещения нового производства, определения оптимальных единичных мощностей. В рамках создаваемой в Ереванском отделении ОНХУ «Пластполимер» САИР производить винилантатата и его производных эта задача решается с использованием программного комплекса «СНОРТ», укрупненная блок-схема которого приведена на рисунке.

Учитывая, что качество ТЭО на создание нового производства во многом зависит от уровня информации о конъюнктуре товарной продукции и сырьевых ресурсов на период 15—20 лет, а также о состоянии технологических и технико-экономических показателях отечественных и зарубежных аналогов, эти данные, накапливаемые и систематически обрабатываемые соответствующими подразделениями отделения, составляют информационный массив FL-1. Наряду с этим исходной информацией для работы комплекса «СНОРТ» являются основные характеристики альтернативных вариантов структурной организации ХТС производства-аналогов.

Выбор оптимальной организации производства осуществляется в три этапа: 1. Предварительный анализ эффективности известных способов производства целевых продуктов с целью выявления одного или нескольких отвечающего заданным требованиям по мощности и сырьевой базе (блок 1); 2. Определение оптимальной мощности выбранного производства (блок 2); 3. Выбор числа и оптимальных единичных мощностей агрегатов производства (блоки 3—12).

Алгоритмическую основу подсистемы «ANALIS» (блок 1) составляет процедура расчета зависимостей приведенных затрат $\Pi_{\text{пр}}(m)$ на производство целевого продукта от мощности для всех анализируемых способов и разбиении полного диапазона мощностей на участки, соответствующие способам производства, характеризующимся минимальными значениями $\Pi_{\text{пр}}(m)$ [1]

$$\Pi_{\text{пр}}(m) = C(m) + EK(m), \quad m \in M, \quad (1)$$

где $C(m)$ и $K(m)$ — себестоимость целевого продукта и капиталовложения на внедрение технологии, E — коэффициент народнохозяйственной эффективности капиталовложения.

Размеры $C(m)$ и $K(m)$ определяются по формулам корректировки в зависимости от мощности технологических установок [2]

$$C(m) = C(m^*)(m/m^*)^a, \quad K(m) = K(m^*)(m/m^*)^n, \quad m, m^* \in M, \quad (2)$$

где m^* — мощность базового производства-аналога, $\beta = 0,5-0,9$, $n = 0,5-0,95$. Значения β и n для конкретных производств определяются предварительно с учетом особенностей технологических процессов и их структурной организации. Полученные результаты расчета для всех анализируемых способов производства позволяют осуществлять выбор оптимального диапазона мощностей при заданном способе производства, либо способа производства при заданных ограничениях на мощность, соответствующих минимальным приведенным затратам.

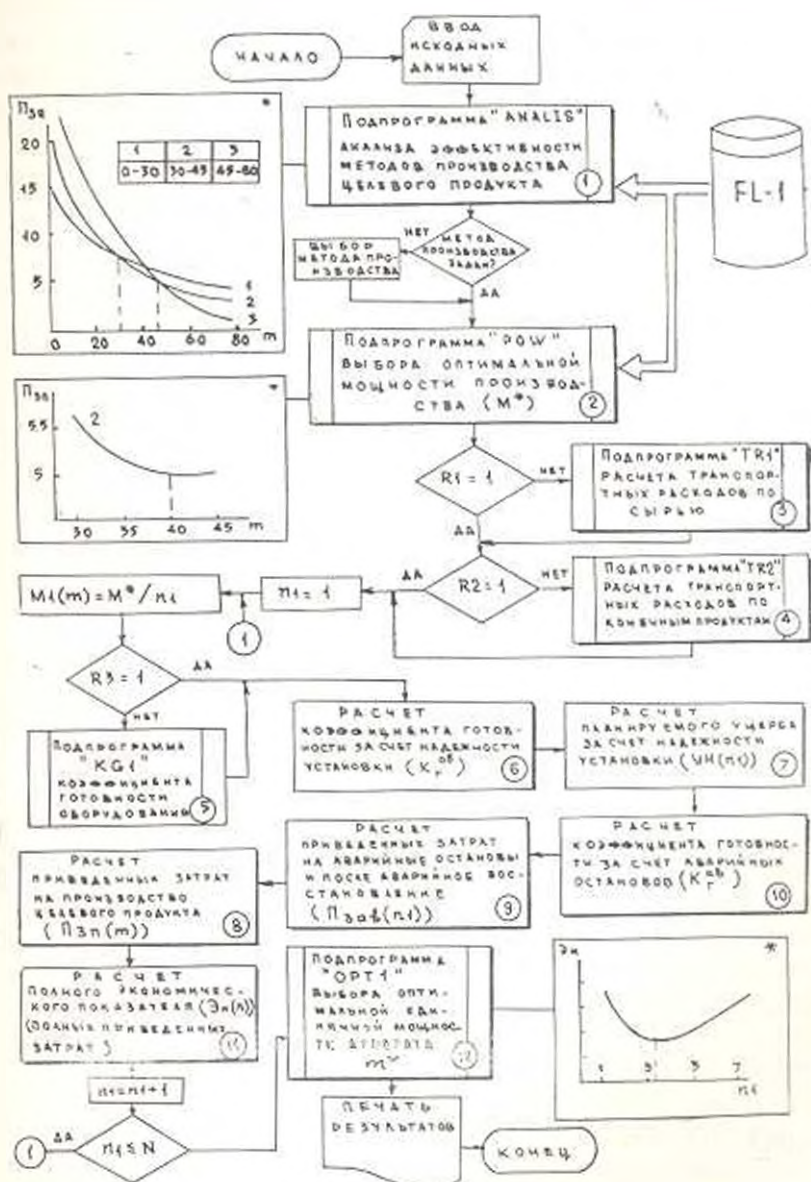


Рис. Структурная схема программного комплекса „CHOPT“.

При реализации процедуры выбора оптимальной мощности производства (блок 2) расчет $\Pi_{\text{зп}}(m)$ для выбранного способа при $m > m_1$



(m_1 — максимальная единичная мощность агрегата производства аналога) осуществляется с использованием выражений

$$K(m) = (1 + \gamma) K(m^*) (m/m^*)^\alpha, \quad (3)$$

$$C(m) = C(m^*) (m/m^*)^\beta + \gamma K(m^*) (m/m^*)^\alpha,$$

где $\gamma = 0.4$ — коэффициент амортизации, α — коэффициент, учитывающий увеличение стоимости монтажных работ при использовании агрегатов единичной мощности, отличных от базовых.

Выбор оптимальной мощности производства M^* осуществляется поиском минимума $\Pi_{\Sigma}(m)$, рассчитанного по (1) для оптимального диапазона изменения мощности, соответствующего выбранному способу производства.

Проведенный анализ характера влияния на оптимальную мощность производства различных факторов показал, что в случае многоагрегатного производства темпы изменения приведенных затрат на производство Π_{Σ} снижаются, поскольку величина $K(m)$ уменьшается менее резко (растут затраты на общецеховые сооружения), а также за счет некоторого увеличения $C(m)$ в части общецеховых и общезаводских затрат и роста численности обслуживающего персонала. Приведенные затраты на транспорт $\Pi_{\text{т}}$ растут пропорционально росту мощности m . Изменение приведенных затрат на производство при изменении мощности за счет учета надежности работы оборудования $Y_{\text{н}}$ связано с рядом факторов, обусловленных: сложностью ХТС (число стадий, аппаратов); характером и ритмом работы производства; наличием оборудования, имеющего повышенную ненадежность по сравнению с другими видами оборудования; величинами единичной мощности и числом агрегатов (блоков, узлов), входящих в состав производства. Приведенные затраты на послеаварийные пуски агрегатов $\Pi_{\text{зап}}$ связаны с мощностью прямо пропорционально, поскольку чем больше мощность, тем больше потери готовой продукции, даже если надежность работы оборудования остается той же. В целом, влияние $Y_{\text{н}}$ и $\Pi_{\text{зап}}$ на общие приведенные затраты, определяющие оптимальную мощность единичного агрегата, тем меньше, чем выше надежность работы оборудования.

Математическая формализация задачи выбора оптимальной единичной мощности агрегата для установленной мощности M многоагрегатного производства представлялась в следующем виде:

$$n_1 = \arg \min \Pi_{\Sigma}(n_1), \quad (4)$$

$$\Pi_{\Sigma}(n_1) = \Pi_{\Sigma}(m) + \Pi_{\Sigma}(M^*) - Y_{\text{н}}(n_1) - \Pi_{\text{зап}}(n_1), \quad \sum_{i=1}^n m_i^* = M^*, \quad (5)$$

где n_1 — число агрегатов с единичной мощностью m^* .

Учитывая, что Π_{Σ} не зависит от числа агрегатов производства, расчет Π_{Σ} осуществляется в подпрограммах TR1 (блок 3), TR2 (блок

4) при $K1 \neq 1$ или вводится пользователем (при $K1 = 1$) для соответствующей выбранной мощности производства M^* и при последующих расчетах $\Delta_1(n_1)$ остается неизменной.

Значение величины $Y_*(n_1)$ определялось (блок 7) по выражению

$$Y_*(n_1) = \Delta M(n_1) (1 - C(m)), \quad (6)$$

где $\Delta M(n_1)$ — математическое ожидание недовыработки продукции, *т/год*; C — оптовая цена целевого продукта, *руб/т*.

Величина $\Delta M(n_1)$ связана с продолжительностью работы производства в году и сутках, мощностью производства, коэффициентами готовности K_r^{ob} и вынужденного простоя K_n^{op} оборудования. При этом

$$K_r^{ob} = 1 - K_r^{op}. \quad (7)$$

На основании теории надежности $\Delta M(n_1)$ представлялось выражением

$$\Delta M(n_1) = \tau_1 K_r^{ob} K_{np} \left(\sum_{i=1}^{n_1} M_{di} \right) \tau_2, \quad (8)$$

где τ_1, τ_2 — соответственно продолжительность работы агрегата в сутки и в году, ч; M_{di} — суточная мощность агрегата, *т/сут*; K_{np} — коэффициент, учитывающий возможность наложения входящего и состав агрегата.

Коэффициент готовности K_{ri} для i работающих аппаратов i -го агрегата определяется (блок 5) по уравнению

$$K_{ri} = C_L^i K_i^i K_i^{(L-i)}, \quad C_L^i = L! / i! (L-i)!, \quad (9)$$

где L — общее число аппаратов, K_i — усредненный коэффициент готовности аппарата в агрегате, определяемый в виде

$$K_i = 1 / L \sum_{j=1}^L (T_{mj} / (T_{mj} + T_{rj})), \quad (10)$$

здесь T_{mj} и T_{rj} — время наработки на отказ и среднее время восстановления j -го аппарата. Тогда общий коэффициент готовности производства в целом определяется (блок 6) выражением

$$K_r^{ob} = 1 - (n_1 - \sum_{i=1}^{n_1} K_{ri}) n_1^2. \quad (11)$$

Дополнительные затраты на послеаварийные пуски $\Pi_{ав}$, связанные с числом остановок $\Pi_{оп}$, рассчитываются следующим образом:

$$\Pi_{ав}(n_1) = \Delta M_{ав}(n_1) C(m) + Z_n(m) n_{ав}, \quad (12)$$

где $\Delta M_{ав}(n_1)$ — потери установленной мощности при остановке производства за счет возможных аварийных ситуаций и внешних причин (снабжение сырьем, обеспеченность транспортом для вывоза готовой продукции и т. п.), а $Z_n(m)$ — полные затраты на пуск производства

после остановки (аварии). $\Delta M_{\text{ср}}(n)$ рассчитывается в блоке 8 аналогично $\Delta M(n)$ с использованием выражений (7), (8), в которых $K_{\text{ср}}^{(n)}$ и $K_{\text{ср}}^{(n-1)}$ соответственно меняются на $K_{\text{ср}}^{(n)}$ и $K_{\text{ср}}^{(n-1)}$. При этом

$$K_{\text{ср}}^{(n)} = T_{\text{н}} (T_{\text{н}} + T_{\text{ав}}), \quad (13)$$

где $T_{\text{н}}$ — принятое среднестатистическое время работы агрегатов между отказами, $T_{\text{ав}}$ — среднее время вынужденного (аварийного) простоя, включая время восстановления.

Выбор оптимального числа и соответствующей единичной мощности агрегатов m^* осуществляется подпрограммой «ОРТ 1» (блок 12) решением задачи (4) — (5). Программный комплекс «СНОРТ» и все используемые при его работе модули реализованы на языке PL/I ОС ЕС (MVT 6.1) и используются в настоящее время в Ереванском отделении ОНПО «Пластполимер» при проектировании производств винилацетата и пластиков на его основе.

В частности, использование указанного комплекса при выборе способа и мощности производства винилацетата для Карагандинского ПО «Карбид» подтвердило экономическую целесообразность и эффективность организации производства винилацетата из основе ацетилен и уксусной кислоты мощностью 25 тыс. тонн в год в агрегате единичной мощности с псевдоожиженным слоем катализатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика определения экономической эффективности капиталовложений. — Исследования Госстроя СССР, МН СССР, 1980 — 78 с.
2. Лалидиш А. С. Экономическая оптимизация химических производств. М.: Химия, 1986. — 208 с.

Ерв ОНПО «Пластполимер»

20. VIII 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 2, 1990, с. 70—74

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 691.3.06.51

А. М. КАРАПЕТЯН, А. А. МУРАДЯН

ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ УПАКОВКИ

Предлагается итерационный алгоритм упаковки, который может быть применен в процессе синтеза аппаратного и программного обеспечения ЭВМ. Для оптимизации осуществляется по нескольким показателям качества.

Библиогр.: 5 назв.

Մաշինային և ֆունկցիոնալ խոնարհի մոդելավ. որը կարող է օգտագործվել էՎ.Ի. տարաբնույթի և մաթեմատիկական օպտիմիզման համակարգի գործարկման, երբ օպտիմիզմի իրականացում է որակի մի քանի ցուցանիշներով:

В основе предлагаемого итерационного алгоритма решения задачи упаковки, относящейся к классу задач дискретного программирования с неделимостью, лежат принципы, нашедшие отражение в разработке многовариантных алгоритмов многокритериальной оптимизации [1, 2]. Актуальность данной задачи определяется большой областью приложения в процессе синтеза программного и аппаратного обеспечения ЭВМ, а также тем, что известные к настоящему времени методы решения задачи упаковки являются трудоемкими и нерегулярными [3—5], и то время, как предлагаемый алгоритм позволяет получить широкий спектр решений и достаточно простей для программной реализации.

Опишем постановку задачи. Дано множество неизмеримых отрезков $L = \{l_i\}$, $i \in I = \overline{1, n}$, где l_i — длина i -го отрезка, и имеется отрезок длины b , называемый в дальнейшем упаковкой. Необходимо разместить множество отрезков L в упаковку таким образом, чтобы обеспечить минимальное их количество, т. е.

$$g = \min_{l_i \in L} g, \quad g = \left\lceil \sum_{i \in I} l_i \cdot b \right\rceil.$$

$$\forall i \in I, \quad \sum_{j \in J} l_i S_{ji} = b, \quad J \in J = \overline{1, g},$$

$$S_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если } l_i \text{ входит в } j\text{-ую упаковку,} \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Опишем работу итерационного алгоритма. Упорядочим множество L по убыванию, построив кортеж

$$M = \{m_i^{(k)}\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad k \in I, \quad m_i^{(1)} = l_i,$$

если $l_i > l_j$, то $\exists m_i^{(k)}$, для которого $k < I$.

Предположим индексы i и j определяют текущие порядковые номера считываемого $m_i^{(k)}$ элемента и загружаемую упаковку

$$X_j = \{x_j^{(a)}\}, \quad a \in I, \quad z = \overline{1, p}, \quad x_j^{(1)} = m_j^{(1)} = l_j.$$

Тогда исходное разбиение осуществим по условию

$$\begin{cases} b' \leq b - x_j^{(a-1)} = m_i^{(k)}, \\ b' > b - x_j^{(a-1)} = m_i^{(k)}, \end{cases}$$

где $b' = \sum_{a=1}^a x_j^{(a)} - m_i^{(k)}$.

Для каждой X_j -ой упаковки рассчитаем остаток $v_j = b - \sum_{a=1}^a x_j^{(a)}$ и обозначим через $D = \{d_l\}$, $l = \overline{1, (g - g' - 1)}$ множество пар граничных упаковок, где D' определяет количество „прозрачных“ для граничного сцепления разбиений с нулевым остатком. В качестве критерия оптимальности решения рассмотрим $\min_{(d)} \Delta R_l(N)$ на некото-

ром i -ом шаге итерации, где $\Delta R_i(N) = R_i - R_{i-1}$, $R_i = g_i b - \sum_{(j)} v_j$, положительное значение которого завершает оптимизацию и предотвращает возможное заикливание. Процесс итераций осуществим, последовательно чередуя две процедуры: корректировку упаковок на множестве D и упорядочение множества D по исходно заданному многовариантному параметру Λ . В процессе сканирования на множестве D корректировку i -ой упаковки для j -ой пары $(X_i, X_{i+1}) \in d_j$, $j \leq i$, по рассматриваемому k -му элементу $\forall k \exists r \rightarrow \forall r: x_{i+1r}^{(n)} \geq x_{ir}^{(n)}$ осуществим по условию

$$\begin{cases} x_{ik}^{(n)} + x_{i+1k}^{(n)} \leq v_j \rightarrow (X_i = X_i \cup x_{i+1k}^{(n)}, X_{i+1} = X_{i+1} \setminus x_{i+1k}^{(n)}, \\ x_{i+1k}^{(n)} - x_{ik}^{(n)} \leq v_j \rightarrow [X_i = (X_i \cup x_{i+1k}^{(n)}) \setminus x_{ik}^{(n)}, \\ X_{i+1} = (X_{i+1} \cup x_{ik}^{(n)}) \setminus x_{i+1k}^{(n)}]. \end{cases}$$

Если $(v_j = \emptyset) \vee (v_{j+1} = b) \rightarrow (g' = g' + 1, j = j + 1)$, иначе $r = r + 1$, а если $(j = g_j \& (\text{sign}[\Delta R_i(N)] = -1))$, то процесс останавливаем.

Для упорядочения множества D введем понятие определяющего $x_{ir}^{(n)}$ элемента X_i -ой упаковки по условию $p \equiv \Lambda \bmod p_j + 1$, которое осуществить разбиение множества X на классы эквивалентности на каждом i -ом шаге итерации. Упорядочение множества X по убыванию значений определяющих элементов упаковок сведет перебор к ограниченному сканированию на множестве D , отражающем как количество элементов в упаковке и дисперсионный разброс их значений, что обеспечивает сходимость итерационного процесса. Эффективность алгоритма, завершившего функционирование на k -ом шаге итерации, по сравнению с перебором может быть приблизительно оценена по количеству возможных операций сравнения, равных

$$\sum_{j=1}^k p_j (g_j - g'_j - 1).$$

Практическое использование алгоритма в системе МАК показало его соответствие широкому диапазону выдвигаемых требований.

В качестве примера рассмотрим задачу распределения в странично организованной памяти программных модулей по исходным данным [4].

Имеется 20 программных модулей, для которых

$$L = \{17, 342, 410, 480, 178, 462, 96, 317, 433, 91, 28, 11, 31, 495, 392, 343, 226, 218, 152, 378\}.$$

Размер страницы составляет 512 ячеек. Построим

$$M = \{495, 480, 462, 433, 410, 392, 378, 343, 342, 317, 226, 218, 178, 152, 96, 91, 31, 28, 17, 11\}.$$

Исходный кортеж X представится в виде

$$X = \{[495]_{(17)}, [480]_{(32)}, [462]_{(50)}, [433]_{(79)}, [410]_{(102)}, [392]_{(120)}, \\ [378]_{(134)}, [343]_{(169)}, [342]_{(170)}, [317]_{(195)}, [226, 218]_{(68)}, \\ [178, 152, 96]_{(86)}, [91, 31, 28, 17, 11]_{(334)}\}.$$

где в круглых скобках указана величина остатка по соответствующей упаковке. После первой итерации исходного разбиения по d_0 имеем

$$X = \{[410, 96]_{(61)}, [495]_{(17)}, [480]_{(32)}, [462]_{(50)}, [226, 218]_{(68)}, \\ [433]_{(79)}, [392]_{(120)}, [378]_{(134)}, [343]_{(169)}, [342]_{(170)}, \\ [178, 152]_{(82)}, [317]_{(195)}, [91, 31, 28, 17, 11]_{(334)}\}.$$

Конечный результат процедуры исходного разбиения имеет вид

$$X = \{[495, 17]_{(0)}, [410, 94]_{(6)}, [343, 91, 31, 28, 11]_{(8)}, [317, 178]_{(17)}, \\ [342, 152]_{(88)}, [480]_{(32)}, [462]_{(50)}, [226, 218]_{(68)}, [433]_{(79)}, \\ [392]_{(120)}, [378]_{(134)}\}.$$

Проведем оптимизацию по количеству упаковок для случая, когда $N=1$, сканируя на множестве D

$$X = \{[495, 17]_{(0)}, [480]_{(32)}, [462]_{(50)}, [433]_{(79)}, [410, 96]_{(6)}, \\ [392]_{(120)}, [378]_{(134)}, [343, 91, 31, 28, 11]_{(8)}, [342, 152]_{(18)}, \\ [317, 178]_{(17)}, [226, 218]_{(68)}\}.$$

После первой итерации имеем

$$X = \{[495, 17]_{(0)}, [378, 91, 31, 11]_{(1)}, [480]_{(32)}, [462]_{(50)}, [433]_{(79)}, \\ [410, 96]_{(6)}, [392]_{(120)}, [343, 11]_{(150)}, [342, 152]_{(18)}, \\ [317, 178]_{(17)}, [226, 218]_{(68)}\}.$$

Конечный результат представится как

$$X = \{[495, 17]_{(0)}, [378, 91, 31, 11]_{(1)}, [480]_{(32)}, [462]_{(50)}, \\ [433]_{(79)}, [410, 96]_{(6)}, [392, 11]_{(169)}, [343, 152]_{(17)}, [342]_{(170)}, \\ [317, 178]_{(17)}, [226, 218]_{(68)}\}.$$

В целом, число упаковок, как и в [4], равно 11, хотя по конечному результату разбиения они различны. Однако предлагаемый алгоритм является многовариантным и может давать различные результаты в зависимости от значения исходно заданного параметра многовариантности, что является ценным качеством при наличии различных требований, отражающихся в выборе ведущего показателя.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мурадян А. А., Карапетян А. М. К вопросу применения многовариантных алгоритмов в процессе многокритериальной оптимизации // Тез. докл. II Всесоюзной конф. по акт. пробл. информ. и выч. техн.—Ереван: ВЦ АН АрмССР, 1987.—С. 40—41.
2. Мурадян А. А. Совмещенный многовариантный алгоритм компоновки и размещения // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1988.—Т. XLII, № 3.—С. 32—37.
3. Палагин А. В., Писарский А. А., Позорелый С. Д. Об одном методе решения задачи упаковки // Вопросы проектирования устройств преобразования и передачи информации.—К.: НК АН УССР, 1975.—С. 112—123.
4. Палагин А. В., Писарский А. В., Позорелый С. Д. Об одной задаче оптимального размещения данных // УСиМ.—1976.—№ 4.—С. 64—68.
5. Бабиян А. А. О применимости одного алгоритма к решению задачи упаковки // УСиМ.—1978.—№ 6.—С. 55—56.

ЕрИИ им. К. Маркса

5.11.1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 2, 1990, с. 74—77

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 658.562

С. Р. ДАДЛАКЯН, П. А. НАЗАРЯН

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПТИМИЗАЦИИ ДОПУСКОВ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ

Решена задача оптимизации допусков первичных параметров изделий на основе применения квадратичной шкалы допусков и метода линейного программирования.

Библиогр. 3 назв.

Արտադրանքի սկզբնական պարամետրերի թույլտվությունների օպտիմիզացիայի հարցերի լուծման և թույլտվությունների բաշխումային աանդրակի և դրանի ձրագրամիտման մեթոդի պատգարմամբ:

При назначении допусков на первичные параметры изделий возникает задача: на основе технико-экономических расчетов разрешить противоречия между эксплуатационными требованиями и технологическими возможностями производства [1].

Опыт назначения допусков показывает, что решить эту задачу возможно только в случае предоставления конструктору изделий большого выбора при варьировании допусками на параметры. Если точность и стабильность изготовления деталей обеспечивается высоким уровнем автоматизации, то точность и стабильность процессов сборки остается недостаточной. Последнее означает, что процессы сборки, регулировки и контроля механизмов являются эргатическими [2, 3].

В настоящей работе рассматривается задача оптимизации допусков первичных параметров изделий, как зависящих от эргатических факторов (напряженности и мотивация), так и не зависящих от них.

Запишем обобщенное уравнение допусков в виде

$$\Delta_y^* = \Delta_y^2 = \sum_{i=1}^n v_i x_i, \quad v_i = \left(\frac{\partial y}{\partial q_i} \right)_0, \quad x_i = \Delta_i^2, \quad (1)$$

где Δ_y — допуск на выходной параметр изделия; Δ_i — допуски на первичные параметры деталей и сборочных единиц q_i , $i = \overline{1, n}$; $\left(\frac{\partial y}{\partial q_i} \right)_0$ — коэффициент влияния i -го первичного параметра, вычисленный при номинальных значениях первичных параметров.

Уравнение (1) имеет удобный вид для применения метода линейного программирования, для чего необходимо аппроксимировать функции надежности (вероятность безотказной работы) $P_i(\Delta_i)$ и себестоимости $C_i(\Delta_i)$ линейными функциями. Такая линеаризация осуществляется, например, заменой допусков Δ_i шкалой величин x_i . Линеаризация $C_i(\Delta_i)$ осуществляется по формуле

$$C_i = C_{i0} - \frac{C_{i0} - C_{ik}}{x_{i0} - x_{ik}} x_i,$$

где C_i — текущее значение себестоимости i -го параметра; C_{i0} и C_{ik} — значения себестоимости i -го параметра, вычисленные для границ x_{i0} и x_{ik} ; x_i — текущее значение квадрата допуска $x_{i0} \leq x_i \leq x_{ik}$.

Функция себестоимости C изделия имеет вид

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_i,$$

где

$$C_0 = \sum_{i=1}^n C_{i0}, \quad \beta_i = \frac{C_{i0} - C_{ik}}{x_{i0} - x_{ik}}, \quad i = \overline{1, n}.$$

В процессе оптимизации ставится условие $C = \min$ или

$$C = C_0 - C = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i \rightarrow \max_{x_i}.$$

В пределах области допустимых значений линеаризация P_i осуществляется по формуле

$$P_i = P_{i0} + \gamma_i x_i, \quad \gamma_i = - \frac{P_{ik} - P_{i0}}{x_{ik} - x_{i0}}, \quad (2)$$

где P_i — текущее значение вероятности попадания значения i -го параметра в заданные пределы; P_{i0} , P_{ik} — значения вероятностей, соответствующих начальному и конечному уровням допуска i -го параметра.

Рассмотрим структуру по надежности, когда отказ изделия происходит при отказе хотя бы по одному из параметров. Тогда надежность изделия P связана с надежностью параметров P_i ($i = \overline{1, n}$) соотношением вида

$$P = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (3)$$

Из (2) и (3) имеем

$$P = P_0 + \sum_{i=1}^n \gamma_i x_i + O(x_i^2).$$

$$P_0 = \prod_{i=1}^n P_{i0}, \quad \gamma_i x_i = P_{i0} \dots P_{(i-1)0} P_{(i+1)0} \dots P_{n0} \gamma_i x_i.$$

Согласно техническим требованиям значение P определяем из условия $P \geq P_{tr}$:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i x_i \geq P_{tr} - P_0.$$

Задача оптимизации допусков первичных параметров с учетом эргатических факторов (напряженность S и мотивация F) решается следующим образом.

Найти максимум целевой функции

$$C^* = \sum_{i=1}^n p_i(S, F) x_i \rightarrow \max_{x_i}$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \gamma_i(S, F) x_i \geq P_{tr} - P_0, \\ \sum_{i=1}^n v_i(S, F) x_i \leq \Delta_{ip}, \\ x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}, \quad i = \overline{1, n}, \end{cases}$$

где Δ_{ip} — заданный допуск выходного параметра изделия, а $x_{i \min}$ и $x_{i \max}$ — минимальный и максимальный уровни квадратов допусков i -го параметра.

Пример. Рассмотрим задачу оптимизации допусков на параметры деталей и сборочных единиц реле типа РПУ. Контролю подвергаются параметры реле а) раствор контактов средних вертикальных рядов q_1 ; б) провал контактов средних вертикальных рядов q_2 ; в) общий ход якоря q_3 . Допуск на выходной параметр-время размыкания замыкающих контактов: $\Delta_0 = 0,25$.

Уравнение точности при $v_1 = 0,36$, $v_2 = 0,655$, $v_3 = 0,73$ имеет вид

$$5,76x_1 + 10,496x_2 + 11,824x_3 \leq 1.$$

Ограничение по надежности при $S = 1,4$ и $F = 0,8$, что соответствует введению бригадного подряда, имеет вид

$$95x_1 + 166,25x_2 + 293,75x_3 \geq 1.$$

Для сопоставления приводится ограничение по надежности при $S = 1$ и $F = 1, 2$ (без специальных методов стимулирования)

$$24,3x_1 + 53,47x_2 + 89,72x_3 \geq 1.$$

Из последнего ограничения видно, что для его реализации необходимым средним уровнем допуска не ниже 30%, что нереально для достаточно точного производственного процесса. Выбор соответствующих уровней $S = 1,4$ и $F = 0,8$ позволил решить рассмотренную задачу оптимизации допусков для реле РПУ:

$$\Delta_1 = 0,1, \quad \Delta_2 = 0,1, \quad \Delta_3 = 0,055.$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Якушев А. Н., Воронцов А. Н., Федотов Н. М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения.— М.: Машиностроение, 1986.— 351 с.
2. Таран В. А. Эргатические системы управления.— М.: Машиностроение, 1976.— 118 с.
3. Петросян Р. Г., Даллакян С. Р. Определение оптимальной напряженности выполнения технологических и контрольных операций // Промышленность Армении.— 1984.— № 2.— С. 48—50.

ЕрПН им. К. Маркса

28.V.1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 2, 1990, с. 77—81

ГИДРАВЛИКА

УДК 628.112

Э. А. ХАЧАТРЯН

ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ

Приводится гидродинамический расчет вертикального течения, действующего в многослойной гидравлически связанной фильтрационной среде. Дается прогноз подземных вод во времени и в пространстве. Решение асимметричной задачи получено с использованием метода конечных разностей на ЭВМ.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Քերթում է ուղղագիծ զրննածի հորաների փոխակախ հաշվարկը, որն աշխատում է հիդրափյունին կապված բազմաշերտ ձմանցման միջավայրում: Տրվում է ստորգետնյա ջրերի նախադիտակումը ժամանակի և տարածության մեջ: Առանցքային համակարգի խնդիր լուծումը ստացված է էԶՄ-ի վրա վերագրող ածերի մեթոդի օգտագործմամբ:

Разработка и осуществление комплексно-инженерных мероприятий в области водного и сельского хозяйства в гидротехническом строительстве при мелиорации земель связаны с использованием подземных вод. Эта проблема нередко включает в себя решение научных и инженерных задач, связанных с прогнозом и оценкой запасов подземных вод на основе гидрогеологических расчетов водозаборных сооружений.

Поверхностные и подземные водные ресурсы АрмССР очень ограничены. Подземные воды Араратской равнины являются основным источником покрытия дефицита воды в орошении, мелнирании засоленных земель, водоснабжения населения и промышленных предприятий. Однако, при использовании подземных вод водозаборными сооружениями необходимо не нарушать гидрогеологическую обстановку режима подземных вод с их естественной разгрузкой.

Цель настоящей работы заключается в прогнозировании динамики уровня грунтовых и напоров подземных вод при отборе воды из различных водоносных горизонтов подземного водохранилища Араратской равнины с помощью эксплуатационных скважин.

Араратская равнина в гидрогеологическом отношении представлена комплексом озерно-речных отложений, с чередующимися песчано-гравелисто-галечными образованиями и глинами, имеющим общую мощность 300—500 м [1]. В результате схематизации гидрогеологической обстановки территории расчетная схема равнины представляется в виде фильтрационной системы, состоящей из трех водоносных гидравлически связанных пластов, разделенных между собой малопроницаемыми слоями: покровного слоя (I), первого субнапорного водоносного слоя (II), второго сильнонапорного (артезианского) слоя (IV) (рис. 1). При этом покровный слой разделен на две толщи: верхняя, хорошо проницаемая — супеси, разнозернистые пески и др., нижняя — слабопроницаемая (суглинки, глины и т. д.) (рис. 1—1а, 1б).

Применительно к таким условиям рассмотрим решение фильтрационной задачи в случае откачки из совершенной скважины, принимая предпосылку перетекания в малопроницаемых слоях жестким режимом. Осесимметричная задача динамики подземных вод математически может быть сведена к решению следующих нелинейных дифференциальных уравнений [2—4]:

$$\frac{k}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r(h - \Delta z) \frac{\partial h}{\partial r} \right] = \frac{k_0}{m_0} (H_1 - h) + W = \mu_0 \frac{\partial h}{\partial t};$$

$$(km)_1 \left(\frac{\partial^2 H_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial H_1}{\partial r} \right) + \frac{k_1}{m_1} (H_2 - H_1) - \frac{k_0}{m_0} (H_1 - h) = \mu_1 \frac{\partial H_1}{\partial t}; \quad (1)$$

$$(km)_2 \left(\frac{\partial^2 H_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial H_2}{\partial r} \right) - \frac{k_2}{m_2} (H_2 - H_1) = \mu_2 \frac{\partial H_2}{\partial t},$$

где $h(r, t)$, $H_1(r, t)$, $H_2(r, t)$ — отметки соответственно уровня грунтовых вод, напоры субнапорного и сильнонапорного слоя на расстоянии r в момент времени t ; μ_0 , μ_1 , μ_2 — коэффициенты водоотдачи (гравитационной и упругой) в покровном, слабонапорном и сильнонапорном слоях; k , Δz — коэффициент фильтрации и отметка поверхности верхней толщи покровного слоя; $\frac{k_0}{m_0}$, $\frac{k_1}{m_1}$ — удельные проницаемости нижней толщи покровного слоя и озерных глин; km_1 , km_2 —

водопроницаемости субнапорного и артезианского слоев; W — суммарная величина интенсивности инфильтрации с учетом испарения.

Рассматриваются следующие частные практические варианты от качки подземных вод (рис. 1):

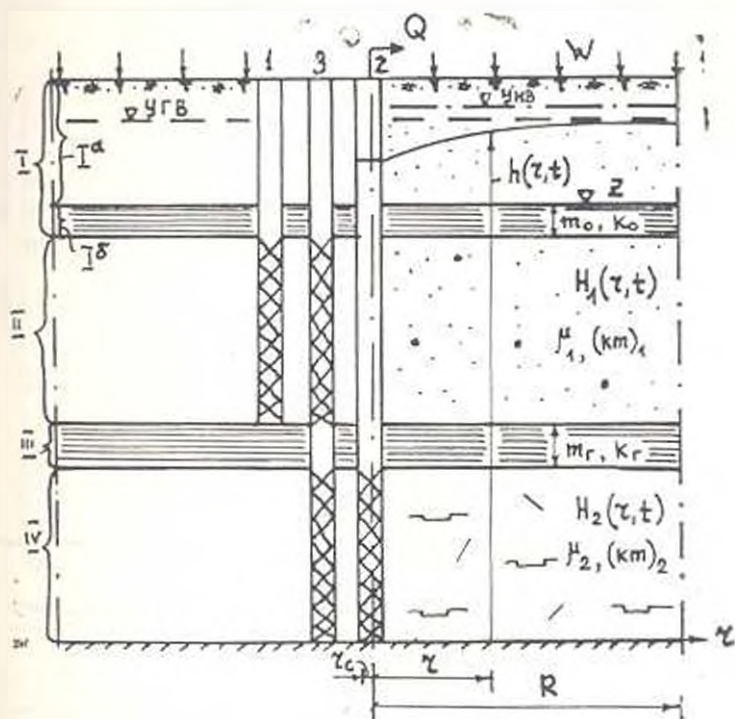


Рис. 1. Расчетная схема водоносных слоев: I — покровный слой, II — субнапорный слой, III — озерные глины, IV — артезианский слой

1. Забор воды осуществляется из субнапорного слоя (рис. 1, вариант 1). При этом система уравнений (1) решается при следующих краевых условиях:

$$t=0, \quad h(r, 0) = h(r), \quad H_1(r, 0) = H_1(r), \quad H_2(r, 0) = H_2(r); \quad (2)$$

$$t>0, \quad r \rightarrow r_c, \quad 2\pi(km)_1 \left(r \frac{\partial H_1}{\partial r} \right)_{r=r_c} = Q_1, \quad \frac{\partial H_2}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial h}{\partial r} = 0; \quad (3)$$

$$r \rightarrow R, \quad h(R, t) = h_n, \quad H_1(R, t) = H_{1n}, \quad H_2(R, t) = H_{2n}, \quad r_c \leq r \leq R. \quad (4)$$

2. Забор воды осуществляется только из артезианского слоя (рис. 1, вариант 2). В данном случае условия (2), (4) остаются, а при $r \rightarrow r_c$ и $t > 0$ —

$$\frac{\partial h}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial H_1}{\partial r} = 0, \quad 2\pi(km)_2 \left(r \frac{\partial H_2}{\partial r} \right)_{r=r_c} = Q_2. \quad (5)$$

3. Когда забор воды осуществляется из двух основных водоносных горизонтов (рис. 1, вариант 3) граничные условия на водозаборе принимают вид (условия (2) и (4) аналогичны)

$$t > 0, \quad r = r_*, \quad H_1(r, t) = H_2(r, t), \quad \frac{\partial h}{\partial r} = 0, \quad (6)$$

$$2 \cdot \left[(km)_1 \left(r \frac{\partial H_1}{\partial r} \right)_{r=r_*} + (km)_2 \left(r \frac{\partial H_2}{\partial r} \right)_{r=r_*} \right] = Q_1.$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1) при соответствующих краевых условиях аналитически не представляется возможным, т. к. первое уравнение системы нелинейно относительно h .

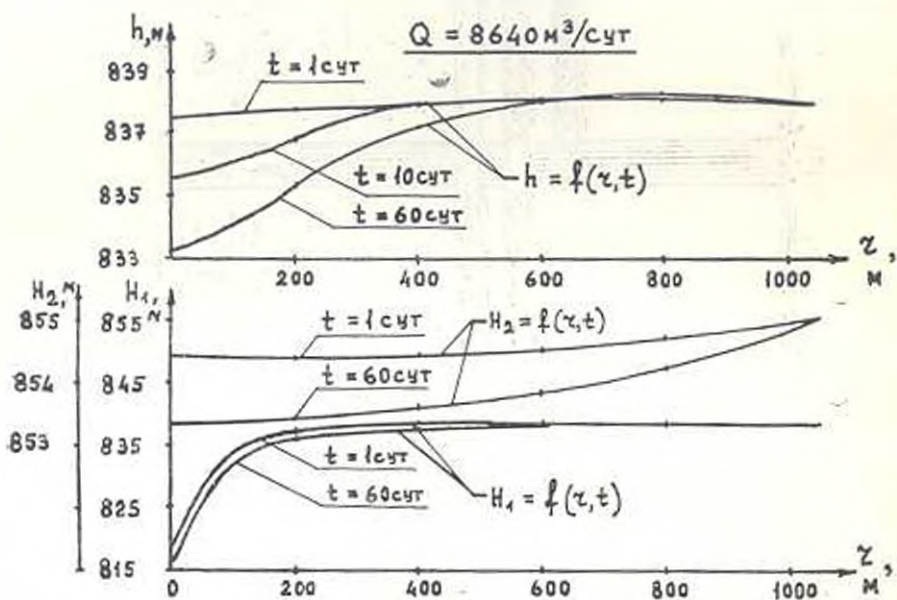


Рис. 2. Забор воды осуществляется из сильноподпорного слоя (вариант 1).

60

Поставленные практические задачи (1, 2, 3) при принятых краевых условиях реализованы методом конечных разностей по программе на языке ФОРТРАН-IV для ЭВМ СМ-4. Решение нелинейных алгебраических уравнений произведено методом итераций Зейделя. По изложенной выше методике был произведен расчет водозабора подземных вод применительно к гидрогеологическим условиям Араратской равнины при различных значениях дебитов. Исходные данные:

$$(km)_1 = 1500 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad (km)_2 = 2000 \text{ м}^2/\text{сут}, \quad k = 4 \text{ м}/\text{сут}, \quad \mu_0 = 0,14$$

$$\mu_1 = 0,05, \quad \mu_2 = 0,02, \quad \frac{b}{m_0} = 0,008 \text{ сут}, \quad \frac{b}{m_1} = 0,008 \text{ сут}^{-1}, \quad r_* = 0,2 \text{ м}$$

$$R = 1055 \text{ м}, \quad t = 0, \quad h = 838 \text{ м}, \quad H_1 = 838,5 \text{ м}, \quad H_2 = 855 \text{ м}, \quad \Delta z = 820 \text{ м}$$

Ограниченная в плане область аппроксимирована крупной сеткой в отдалении от скважины и более мелкой — в зоне резкого падения депрессионной воронки. Шаг по пространственной координате r и времени t принят неравномерным $\Delta r = 1, 2, 3, \dots, 10, 50$ м. Шаг по времени до 20 суток принят $\Delta t = 1$ сут. По истечении 20 сут, когда снижение уровня подземных вод замедляется, шаг принят $\Delta t = 5$ сут.

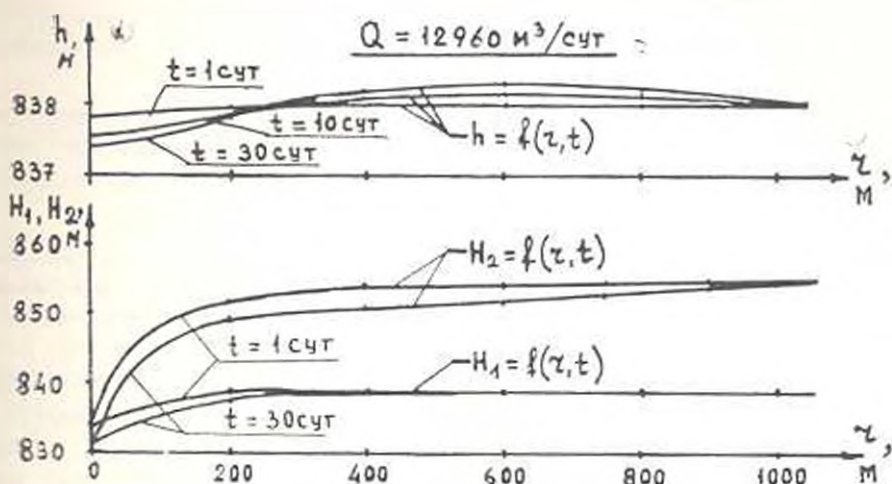


Рис. 3. Забор воды осуществляется из двух водоносных слоев (вариант 3).

По полученным результатам построены уровень грунтовых вод и пьезометрические линии основных водоносных горизонтов. Результаты расчетов при различных дебитах скважины приложены на рис. 2, 3.

Сопоставление расчетов с теоретическими решениями [2—4] даст расхождение до 5%, причем, по мере удаления от скважины оно уменьшается до 1%. Полученное решение было использовано для анализа режимных наблюдений на некоторых скважинах Октемберянского района Араратской равнины. При этом получено хорошее соответствие с натурными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агачян А. А., Ветеркович В. П. О математической модели для исследования комплексов водоресурсов по динамике подземных вод // Водные ресурсы. — 1974. — № 3. — С. 165—178.
2. Шестаков В. М. Фильтрационный расчет откачки из скважины в двух пластовой системе // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1982. — № 1. — С. 67—85.
3. Казарян С. М. Движение подземных вод к скважине в неоднородноэластичном пласте при откачке по нижнему напорному водоносному горизонту // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. — 1981. — Т. XXVII, № 6. — С. 17—25.
1. Казарян С. М. Водный обмен на фоне вертикального дренажа. — Ереван: Анистан, 1988. — 268 с.

УДК 621.914

Р. Г. СТЕПАНИАН, С. Г. АРУТЮНЯН, Р. С. МАРКАРЯН

ЧИСЛО РЕЖУЩИХ ЗЕРЕН НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
АЛМАЗНЫХ КРУГОВ

Получено аналитическое выражение для определения числа режущих зерен в зависимости от соотношения глубины заделки зерна в круг к высоте его выступающей части. Экспериментально показана необходимость учета этого параметра.

Библиогр. 5 назв.

Ստացված է կտրող շարժիչների քանակության որոշման հարցում հարկադիր լինող հարաբերակցությունների և անհրաժեշտ կապակցող ելակետի մեջ շարժիչի ներքին և արտաքին մասերի շարժերի փոփոխությունների ցուցիչ և արված արդյունավետության անդամաշաղկապները:

От числа алмазных зерен на рабочей поверхности круга зависит толщина снимаемого зерном среза, нагрузка на зерно, температура и силы резания, качество обработанной поверхности и др. [1]. Имеющиеся в специальной литературе расчетные и экспериментальные данные чисел зерен для идентичных условий имеют большой (до 300%) разброс, что объясняется наличием в порошке фракций, отличающихся от основной [2], универсальностью формул без учета марок и зернистостей алмазов, а также связок и наполнителей алмазосодержащего слоя. В формулах отражается также различие подходов авторов к механизму удержания алмазов в связке. Анализ показал, что число режущих зерен на рабочей поверхности круга должно зависеть от соотношения глубины заделки зерна в круг к высоте его выступающей части μ , причем оно в большой степени обуславливается ориентацией алмазных зерен. На основе этого предпринята попытка аналитически определить число режущих зерен на рабочей поверхности круга из алмазного порошка АС4. В зернах такого порошка преобладает промежуточная форма зерен (70—90%) с коэффициентов формы $K_{\phi} = 1,3-2$ [3]. В связи с этим зерна АС4 с достаточной точностью можно аппроксимировать эллипсоидом вращения (с главной осью l и малой осью b), площадь проекции которого равна площади реального зерна.

Рассмотрим произвольное сечение, параллельное рабочей поверхности круга: примем его за плоскостью $Z=0$ системы координат с осью Z , перпендикулярной этому сечению. Положение зерна будем характеризовать координатами ее центра тяжести X, Y, Z и углом наклона Θ главной оси эллипсоида вращения относительно плоскости (X, Y) . Для значений параметров (l, b, Θ, Z) таких, что

$$|Z| < \frac{1}{2} \sqrt{b^2 \cos^2 \Theta + l^2 \sin^2 \Theta}$$

образившие зерна пересекаются с плоскостью $Z = 0$, причем, площадь сечения каждого зерна S_n равна

$$S_n = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{lb^2(b^2 \cos^2 \Theta + l^2 \sin^2 \Theta - 4Z^2)}{b^2 \cos^2 \Theta + l^2 \sin^2 \Theta} \quad (1)$$

Глубина заделки зерна h_1 и высота выступающей части h_2 (h_1 и h_2 определяем от плоскости $Z = 0$ до нижней и верхней касательных к зерну плоскостей ортогональных оси Z) записываются в виде

$$h_{1,2} = Z \pm \frac{1}{2} l \sqrt{b^2 \cos^2 \Theta + l^2 \sin^2 \Theta} \quad (2)$$

Зерно будем считать режущим, если

$$h_1, h_2 > 0, \quad (3)$$

т. е. оно, снимая стружку, удерживается в связке.

Интегрирование выражения (1) по параметрам l, b, Θ, Z с учетом соотношения (3) и введением соответствующих плотностей вероятностей $p_1(l), p_2(b), p_3(\Theta), p_4(Z)$ дает выражение для отношения площади зерен к площади рабочей поверхности круга S_r

$$\frac{\sum S_n}{S_r} = \frac{\pi}{6} \cdot \frac{1 - 3\mu}{(1 + \mu)^2} n \bar{l} \bar{b}^2 = \frac{1 - 3\mu}{(1 + \mu)^2} n \bar{V} \quad (4)$$

где n — число зерен в единице объема, $\bar{V}$ — средний объем одного зерна.

При выводе формулы (4) считали распределение $p_4(Z)$ равномерным [4]. Заметим, что данное выражение не зависит от функции $p_3(\Theta)$.

Количество режущих зерен определяется интегралом произведений функций плотностей вероятностей по области допустимых значений (3) параметров l, b, Θ, Z . Производя разложение случайных величин вокруг их средних значений с точностью до квадратных членов, получаем общую формулу для количества режущих зерен на единицу площади

$$N = \frac{n}{1 + \mu} (\bar{b}^2 \cos^2 \bar{\Theta} + \bar{l}^2 \sin^2 \bar{\Theta}) \cdot \left\{ 1 + \frac{D\Theta}{2} \times \right. \\ \left. \times \frac{(\bar{l}^2 - \bar{b}^2)(\bar{b}^2 \cos^2 \bar{\Theta} - \bar{l}^2 \sin^2 \bar{\Theta})}{(\bar{b}^2 \cos^2 \bar{\Theta} + \bar{l}^2 \sin^2 \bar{\Theta})^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(D\bar{l}\bar{b}^2 + D\bar{b}\bar{l}^2) \sin^2 \bar{\Theta} \cos^2 \bar{\Theta}}{(\bar{b}^2 \cos^2 \bar{\Theta} + \bar{l}^2 \sin^2 \bar{\Theta})^2} \right\} \quad (5)$$

где $Dl, Db, D\Theta$ — дисперсии случайных величин l, b и Θ . Дисперсионные члены учитывают отличие функций распределения с одинаковыми значениями, например, хаотичного углового распределения зерен под углом $\Theta = 45^\circ$. Так, в работе [5] хаотичное распределение зерен с угловой дисперсией $D\Theta = \pi^2/16$ заменяется распределением, соответствующим равному количеству зерен, ориентируемых в предельных положениях (главные оси зерен перпендикулярны и параллельны плоскости $Z = 0$). Дисперсия этого распределения равна $\pi^2/48$.

Вклад дисперсионных членов зависит от коэффициента формы абразивных зерен. Однако, для $K_d = 1,3-2$ они составляют порядка 1%. Поэтому, пренебрегая ими, выражение (15) запишем в виде

$$N = \frac{n}{1+\mu} (\bar{b}^2 \cos^2 \Theta + \bar{l}^2 \sin^2 \Theta)^{1/2}. \quad (6)$$

В частных случаях ($\Theta = 45^\circ, 90^\circ$) получим выражения для количества режущих зерен, для их ориентированного и неориентированного расположения

$$N_0 = \frac{n}{1+\mu} \bar{l}, \quad (7)$$

$$N_a = \frac{n}{1+\mu} \left(\frac{\bar{b}^2 + \bar{l}^2}{2} \right)^{1/2}. \quad (8)$$

Формула (7) для ориентированных зерен при условии $\mu = 1$ идентична, а для неориентированных (8) несколько отличается от формул в работе [5]. Для определения влияния μ были изготовлены чашечные круги на органической связке В2-01 100% концентрации с ориентированными (экструзией) и неориентированными алмазными зернами и использованием данных работы [5] была выявлена зависимость μ от ориентации зерен АС4. Соотношение μ для ориентированных зерен (0,75—1,17) в диапазоне зернистостей 80/63—250/200 примерно в 1,6 раза меньше соответствующих значений для неориентированных зерен (1,28—1,62).

Таким образом, учет μ дает возможность более точно характеризовать число режущих зерен на рабочей поверхности алмазных кругов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Работоспособность алмазных кругов / М. Ф. Савко, М. П. Мушняк, Ю. А. Сизый и др. — Киев: Техника, 1983. — 95 с.
2. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э. В. Рыжков, А. А. Саварда, В. Б. Ильинский и др. — Киев: Наукова думка, 1979. — 211 с.
3. Вильямс Е. С. Инструменты с программированным расположением зерен материала // Машиностроитель. — 1982. — № 9 — С. 22—24.
4. Манди М. Механизм фрезинга организованными зернами // Киев: Моментум — 1971. — Т. 23, № 12. — С. 1611—1616.
5. Зайцев Л. Г. Расчет числа зерен, ориентированных расположением на рабочей поверхности шифонального круга // Сверхтвердые материалы. — 1982. — С. 41—44.

Ершова К. Маркса

20. XII. 1983

УДК 620.1:678

Г. Т. ОВАНЕСОВ, А. Г. АБРАМЯН, С. Н. СОТНИКОВ

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ДЕФОРМАЦИИ ШЕЙКООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ

Получены уравнения, устанавливающие зависимость длины шейки полимера от длины основной части пленки и длины шейки, а также учитывающие соотношение площадей поперечных сечений основной части пленки и шейки. Для пленки полимера с прямоугольным сечением в момент полного перехода в область шейки даны определения коэффициента, времени и модуля эластоупругости.

Пл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Ստացված է և հաստատվել է, որոնք կապ են հաստատում պոլիմերի թաղանթի երկարության, երա հիմնական մասի երկարության և վզիկի միջև, միևնույն ժամանակ հաշվի առնելով թաղանթի հիմնական մասի և վզիկի լայնական հատվածքների մակերեսների հարաբերությունը։ Ողղանկյունի հատվածքով պոլիմերի թաղանթի համար պոլիմերի վզիկի տիրույթի անցման պահին տրված է և նկատարկության զործակցի, ժամանակի և մոդուլի բնորոշումները։

Анализ механизма развития шейки в полимерной пленке может быть произведен с использованием представлений о природе развития тяжей при деформации пленки, находящейся между двумя субстратами [1, 2]. При этом основными условиями возникновения шейки или тяжей являются ограничение сжимаемости в направлении, перпендикулярном деформации, и сохранение объема полимера [3]. Актуальной задачей при исследовании механических свойств полимеров является количественное описание механизма образования шейки в пленке, ширина которой значительно больше толщины, с поперечным сечением, имеющим вид прямоугольника.

На рис. 1 представлены исходная полимерная пленка длиной l_0 (а) и одноосно деформированная до длины l_1 (б) в момент образования шейки. Поперечное сечение полимерной пленки (вид сверху) и передний план пленки в процессе развития шейки приведены на рис. 2 (а, б) соответственно. К моменту возникновения шейки, согласно рис. 1 и 2 можно выделить два объема: $V_1 = abl_1^*$ и $V_2 = cdl_1^*$. После того, как в полимерной пленке началось развитие шейки (рис. 2), ее объем запишем как $V_2 = cdl_2$ и будем считать, что он увеличивается только за счет объема $V_3 = (ab - cd)l_2$. Отметим, что с момента возникновения шейки площадь ее поперечного сечения не меняется: $S_0 = cd = \text{const}$. Такой способ разбиения на части объема полимерной пленки позволяет без каких-либо трудностей количественно описать механизм ее деформации. Так, с одной стороны будем считать, что объем полимера, который переходит в область шейки, равен $V = V_1 + V_1^*$, а с другой — $V = V_2 + V_3$, следовательно:

$$(ab - cd)l_1^* = cdl_2 + (ab - cd)l_2. \quad (1)$$

С учетом равенства $l_2 = l_3 = l_4$ из (1) получим соотношение

$$l_2 = l_1 + \left(\frac{2-k}{1-k} \right) l_3, \quad (2)$$

где $k = abcd$.

После простых преобразований и с введением коэффициентов $C_2 = \frac{b(2-k)-1}{k(k-1)}$, $C_1 = -\left(k-2 + \frac{1}{k}\right)$, $C_3 = 1 + k(2-k)$ получим выражения, устанавливающие зависимость полной длины пленки l от длин ее частей

$$l = l_1 + C_2 l_2, \quad l = (1 - C_3) l_1 + C_3 l_2, \quad l = l_1 + C_1 l_3.$$

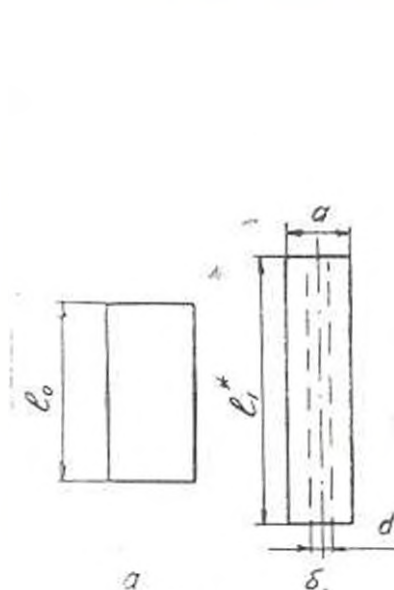


Рис. 1.

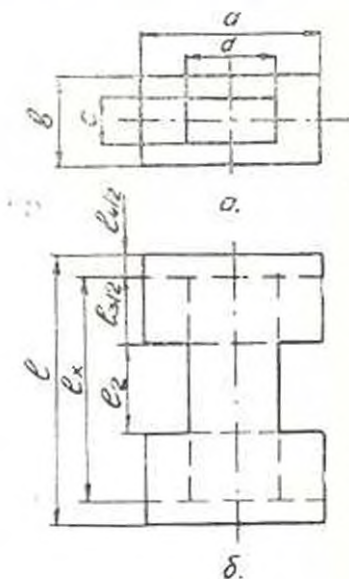


Рис. 2.

Коэффициент C_1 при $l = l_2$ может быть записан как

$$C_2 = (l - l_1) l_2, \quad (4)$$

который характеризует полный переход полимера в область шейки и соответствует ее макрофибрилизации или, что то же, практически полному однородному макроразрушению (расщеплению) в направлении деформации. Так как полимер в процессе макроразрушения находится в высокоэластическом состоянии, то C_2 удобно представлять как коэффициент эластоломкости. При этом важное значение приобретает промежуток времени с момента образования шейки до полного перехода полимера в область шейки или время эластоломкости, которое определяется равенства

$$\tau = (l_2 - l_1) / V, \quad (5)$$

где V — скорость деформирования.

Одной из основных характеристик механических свойств волокнообразующего полимера может быть также модуль эластоломкости, который имеет вид:

$$\tau = f/S_{ш}, \quad (6)$$

где сила f определяется при $l = l_2$ в момент завершения перехода полимера в область шейки, а $S_{ш}$ — из условия

$$S_{ш} = S_0 l_0 l_2.$$

Таким образом, коэффициент C_2 , время τ и модуль σ эластоломкости не только описывают полный переход полимера в область шейки, который связан с завершением основного процесса волокнообразования, но являются характеристикой однородного макроразрушения полимера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ованнисян Г. Т., Баранов В. Г., Френкель С. Я. Термодинамический анализ механизма образования тяжелей при деформации полимерных клееных пленок // Высокомолекулярные соединения. — 1987. — Т. 28, № 1. — С. 29—32.
2. Ованнисян Г. Т., Баранов В. Г., Френкель С. Я. Механизм образования тяжелей при вязком разрушении пленок полимера // Высокомолекулярные соединения. — 1983. — Т. 28, № 10. — С. 762—766.
3. Трескас Л. Физика упругости каучука / Пер. с англ. под ред. Е. В. Кузнецкого. — М.: Изд-во НЛГ. 1953. — 83 с.

Ершова К. Маркса

17. III. 1989

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI. III, № 2, 1990, с. 87—90

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 624.376

Р. О. СААКЯН, Р. А. КОТИКЯН, К. А. СААКЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН 16-ЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ МЕТОДОМ ПОДЪЕМА ПЕРЕКРЫТИЙ

В структуре «ядро жесткости—каркас» железобетонные колонны, являющиеся опорой для плит перекрытий, под действием постоянных нагрузок различных величин в процессе ползучести бетона укорачиваются на неодинаковую величину, что приводит к возникновению дополнительных усилий. Получено, что укорочение железобетонных колонн, в течение 70 суток достигает 0,64 см (при высоте 530 см), а в дальнейшем может увеличиться в несколько раз. Возникающие при этом дополнительные усилия должны учитываться при проектировании колонн и плит перекрытий.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.

Չորսույթյան միջուկ-կմախք կառուցվածքում երկաթբետոնյա սյուների, որոնք վրա են հենվում միջնորդային ծածկերը, տարբեր մեծության հաստատուն ուժերի ազդեցության տակ բետոնի սղորի նեոնանքով կարճանում են տարբեր շախիվ: Դրա հետևանքով կառույցյան միջուկների և սյուների վրա ստիչների հենման տեղում առաջանում են լրացուցիչ ճիգեր, որոնք պետք է հաշվի առնեն սյուների և միջնորդային ծածկերի նախադժմուն ժամանակ:

В структуре «ядро жесткости—каркас», представляющей конструктивную систему многоэтажных жилых зданий, возводимых методом подъема перекрытий, железобетонные колонны, являющиеся опорами пельных на этаж плит перекрытий, вследствие ползучести бетона укорачиваются на неодинаковую величину под действием постоянно действующих вертикальных нагрузок различных величин в периоды подъемно-монтажных работ и эксплуатации [1]. В результате эти плиты постоянно отклоняются от проектного горизонтального положения, что приводит к возникновению дополнительных усилий, которых необходимо учитывать при проектировании колонн и плит перекрытий. В связи с этим проведено экспериментальное исследование ползучести железобетонных колонн в натуре непосредственно на стройплощадке. В течение опытов температура воздуха изменялась в пределах $T = 25 \pm 5^\circ \text{C}$, а относительная влажность $P = 50 \pm 15\%$. Объектом исследования явились колонны 16-эт. жилого здания типа «трилистник», возводимого в г. Ереване. Колонны были изготовлены из тяжелого бетона класса В-35, поперечным сечением $45 \times 45 \text{ см}^2$ на уровне первого этажа. Для временного и постоянного закрепления поднимаемых конструкций в зоне опирания перекрытий в колоннах предусматриваются сквозные прямоугольные монтажные и опорные отверстия, перпендикулярные плоскости грузовых тяг подъемников.

Всего было нагружено 30 колонн. Усадочные деформации определялись на ненагруженных колоннах. Так как 16-этажные здания типа «трилистник» состоят из трех симметрично расположенных крыльев, можно утверждать, что повторяемость эксперимента трехкратная в виде трех серий опытов. Вертикальные нагрузки, действующие на колонны от массы плит перекрытий, определялись на уровне первого этажа при последовательном ступенчатом нагружении колонн от одной до 16 плит.

Деформации каждой железобетонной колонны измерялись с двух противоположных сторон с помощью переносного реформометра [2] на базе 260 мм, что диктовалось необходимостью проведения измерений при любой влажности среды и массовых измерениях.

На каждом графике (рис. 1) показаны результаты измерения деформаций ползучести двух-трех колонн, симметрично расположенных на плыве здания, на которых действует одинаковая расчетная нагрузка. Но как видно, в отдельных интервалах времени, когда измерения проводились сразу после завершения каждого подъема, наблюдался сравнительно большой разброс между деформациями ползучести железобетонных колонн, находящихся под действием одинаковых внешних нагрузок.

Технология подъема не дает возможности определить чистые упругие деформации колонн при нагружении, т. к. отрыв пельной на этаж плиты перекрытия из пакета подъемниками, проводится последовательно: сначала нагружается колонна, на которой установлен данный подъемник, а в последующем отрыве происходит перераспределение усилий между соседними колоннами, поэтому после завершения подъема плит

любого этажа, который длится не более 20 минут, еще раз измеряются деформации. Можно утверждать, что после завершения каждого этапа подъема плит перекрытий и устоявления их на штырях расчетная нагрузка на каждой колонне остается постоянной. Как видно из рисунка, величина разброса измерения деформаций после завершения подъемно-монтажных работ, начиная с 47 суток, и достижения максимальной расчетной нагрузки существенно мала по сравнению с аналогичным разбросом при измерении деформаций ползучести в период подъемно-монтажных работ. В таблице приведены средние значения деформаций для каждой из трех колонн, находящихся под одинаковой внешней нагрузкой.

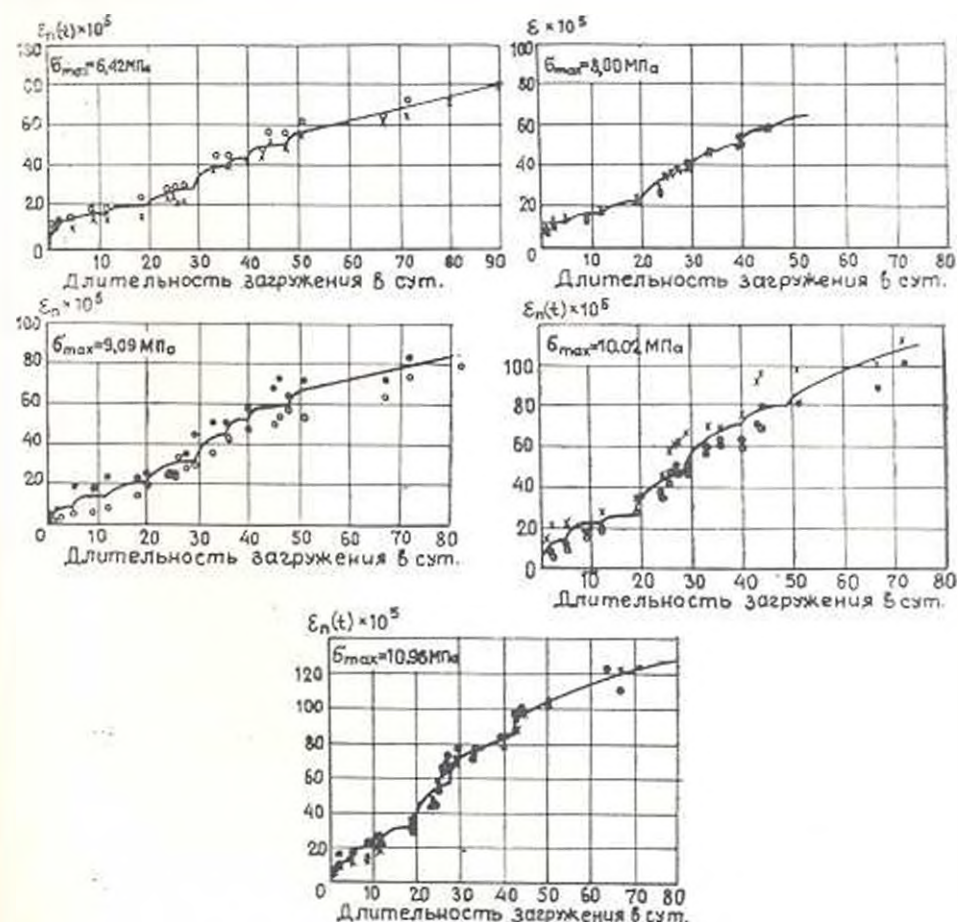


Рис. Деформации ползучести железобетонных колонн:

○ — обр. 1, ● — обр. 2, ■ — обр. 3.

Измерения показали, что кроме деформаций самых нагруженных колонн ($\sigma = 10.96 \text{ МПа}$) и остальных случаев имеет место линейная ползучесть и в течение 70 суток самая нагруженная колонна высотой 530 см под действием половины эксплуатационной нагрузки укорачивается на 0.64 см. Если учесть, что внешняя нагрузка составляла при-

мерю половину расчетной нагрузки и эксплуатационный период здания рассчитывается на несколько десятилетий, можно ожидать, что это число увеличится в несколько раз и приведет к возникновению дополнительных усилий в местах опирания плит на колонны. Эти усилия необходимо учитывать при проектировании плит перекрытий и колонн.

Таблица

№ колонн (обр.)			Внешняя нагрузка 10 кН/м	σ , МПа	$\sigma_{\text{н}} = 10^5$		$\sigma_{\text{н}} = 10^6$	
1	2	3			$t = 50 \text{ см}$	$t = 70 \text{ см}$	$t = 50 \text{ см}$	$t = 70 \text{ см}$
8	18	28	130	6,42	54	70	8,41	10,9
2	12	22	131	6,42	52	69	8,09	10,59
3	13	23	162	8	63	80	7,88	10
7	17	27	162	8	65	82	8,12	10,25
4	14	24	184	9,06	67	78	7,37	8,58
1	11	21	203	10,02	85	105	8,48	10,48
6	16	26	222	10,46	103	121	9,40	11,04

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по расчету деформаций укороченных железобетонных колонн многоэтажных зданий, возводимых методом подъема, с учетом полнотечи / Р. О. Саалян, Р. А. Котьян, К. А. Саалян. — Ереван: ВПЭКТН, 1987. — 53 с.
2. Карпентян А. С. Экспериментальные исследования полнотечи бетона: Автореф. диссер. докт. техн. наук. — Ереван, 1966. — 86 с.

ВПЭКТН

10. III. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 2, 1990, с. 90—93

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК (21) 311

М. Б. САРКИСЯН

ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЯ О РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Предлагается методика учета неопределенности исходной информации при обосновании решений о развитии электроэнергетических систем, основанная на применении методов математической теории эксперимента. Методика позволяет при относительно небольшом объеме численных получить имитационные модели для оценки приращений затрат по вариантам развития электроэнергетических систем и осуществлять их интервальную оценку.

Библиогр. 4 назв.

Առաջարկվող մեթոդիկան, որը հաշվի է առնում նշանակության տեղեկության անորոշությունը, էնկտրաներդտիկական համակարգերի զարգացումը հիմնավորող խնդիրների լուծման մասնակ, հիմնված է փորձերի մաթեմատիկական տեսության վրա: Այն հնարավորություն է տալիս համեմատաբար քիչ ծախսի հաշվարկներով քան էնկտրաներդտիկական համակարգերի զարգացման տարբերակների բերված ծախսերի գնահատման համար գտնել նմանակների մոդելներ և իրագործել նրանց տիրույթային գնահատումը:

Из всего разнообразия типов экспериментальных планов для решения поставленной задачи использовались планы типа полный факторный эксперимент (ПФЭ) и дробный факторный эксперимент (ДФЭ). При этом результаты экспериментов представляются линейной или неполной квадратической моделью объекта [1]

$$y = f(x_1, \dots, x_k)B,$$

где $B = (b_1, \dots, b_m)$ — вектор неизвестных параметров (коэффициентов регрессии), $f(x_1, \dots, x_k) = [f_1(x_1, \dots, x_k), \dots, f_m(x_1, \dots, x_k)]$ — вектор известных функций (факторов).

Оценки коэффициентов регрессии находятся методом наименьших квадратов в соответствии с матричным выражением [2]

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (1)$$

где Y и X — вектор наблюдений и матрица значений функций $f_i(x)$ в точках плана.

Реализация предложенной методики предполагает выполнение следующих этапов:

1. На основе опыта эксплуатации выбираются исходные показатели (факторы), неопределенность которых наиболее существенна при решении данной задачи и в функции которых должны быть найдены предельные затраты. В случае, когда неопределенные исходные данные задаются диапазонами своих значений, используются двухуровневые планы типа ПФЭ и ДФЭ. При этом уровни факторов соответствуют предельным значениям, которые допустимы для факторов в данном эксперименте. Определяется число необходимых экспериментальных расчетов на исходной экономико-математической модели по формуле $N = 2^k$. Оцениваются возможные пределы отклонения факторов, находятся их максимальные и минимальные значения.

2. Определяются кодированные (нормированные) значения переменных факторов и составляется матрица планирования расчетного эксперимента. Эти значения факторов при использовании планов типа ПФЭ и ДФЭ равны $+1$ и -1 для максимальных и минимальных значений факторов соответственно.

3. Все остальные исходные показатели, не включенные в программу исследования, принимаются как незначимые. Эти параметры относятся к второй группе, считая, что их случайные изменения при фиксированных значениях параметров, включенных в программу исследования (первая группа), обуславливают нормальный закон распределения величин приведенных затрат.

4. Осуществляется реализация плана эксперимента на исходной экономико-математической модели для параметров первой группы согласно составленной матрице планирования. Применительно к статистической оценке приведенных затрат реализация каждой строки плана эксперимента состоит в вычислении значений приведенных затрат для уровней переменных параметров, отвечающих этой строке в матрице планирования, общепринятыми методами [3] при детерминированном задании исходных данных.

5. По данным реализации плана эксперимента с использованием аппарата регрессионного анализа рассчитываются коэффициенты регрессии, проверяется их значимость и адекватность полученной математической модели.

При проведении машинных имитационных экспериментов встает вопрос об оценке дисперсии воспроизводимости, который решается введением «эквивалентной помехи» [4]. В результате получается некоторая математическая модель, по которой определяются возможные границы изменения наследуемой величины приведенных затрат путем подстановки в полученную модель нормированных величин значимых факторов. При этом полученный диапазон изменения приведенных затрат дает фактическую оценку возможной ошибки в определении приведенных затрат в случае неучета неопределенного характера исходной информации.

Изложенные выше этапы проводились при решении задачи выбора варианта развития основных сетей Армянской ЭЭС с учетом неопределенности исходной информации. Сравнивались два конкурирующих варианта развития системообразующей сети, однако аналогичный подход можно применять и в случае n вариантов развития ЭЭС. В качестве неопределенных исходных данных, заданных значениями своих значений, рассматривались нагрузки в крупных энергоузлах и продолжительность трасс вновь сооружаемых воздушных линий (ВЛ) электропередач. По первому варианту развития системообразующей сети рассматривались пять, а по второму — четыре фактора, неопределенность которых наиболее существенна при решении данной задачи. В этом случае реализации ПФЭ потребовалась бы проведения $N=2^5=32$ и $N=2^4=16$ опытов для первого и второго вариантов соответственно. Учитывая значимость взаимодействий между факторами, можно на ПФЭ перейти к ДФЭ, где объем расчетов при пяти переменных параметрах для первого варианта будет ограничен до $N=2^{5-1}=16$ опытов и для второго варианта при четырех переменных параметрах до $N=2^{4-1}=8$ опытов.

Реализация ДФЭ для первого и второго вариантов согласно составленным матрицам планирования сводилась к расчету величин приведенных затрат для уровней переменных параметров, соответствующих каждой строке плана расчетного эксперимента, для чего предварительно согласно вариациям факторов определялись потери электроэнергии по вариантам развития основных сетей. Вычисления показали, что при оценке затрат на развитие ЭЭС среднеквадратич-

ное отклонение приведенных затрат не превышает 1% от среднего значения величины $Z_{пр}$.

Таким образом, статистическая обработка результатов расчетного эксперимента позволила получить линейные математические модели величин приведенных затрат

$$Z_{II}^I = 3745 + 81,75x_1 + 81,21x_2 + 73,95x_3 + 128,7x_4 + 38,2x_5,$$

$$Z_{II}^{II} = 3598,2 + 117,4x_1 + 87,5x_2 + 193,8x_3 + 53,2x_4,$$

где принято следующее соответствие переменных параметров факторам модели:

для I варианта — x_1, x_2, x_3 — протяженности трасс линий сооружаемых ВЛ, x_4, x_5 — нагрузки в крупных энергоузлах;

для II варианта — x_1, x_2 — протяженности трасс линий сооружаемых ВЛ, x_3, x_4 — нагрузки в энергоузлах.

По найденным диапазонам изменения приведенных затрат по сравниваемым вариантам развития ЭЭС была осуществлена интервальная оценка вариантов, в результате которой к реализации был рекомендован первый вариант развития системообразующей сети Армянской ЭЭС. Ошибка в оценке величины приведенных затрат в случае исчисления по определенности рассматриваемых параметров составляет $\pm 10,8\%$ по первому варианту и $\pm 12,2\%$ по второму варианту развития ЭЭС.

Проведенное исследование подтвердило необходимость учета неопределенности исходной информации при обосновании решений о развитии ЭЭС и доказало принципиальную возможность использования методов планирования эксперимента для оценки приведенных затрат на развитие ЭЭС с учетом неопределенности исходной информации, о чем свидетельствует точность полученных аппроксимационных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Найденов В. В., Сеникова Т. П. Логические основы планирования эксперимента. — М.: Металлургия, 1981. — 163 с.
2. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. — М.: Физматгиз, 1962. — 349 с.
3. Сравнение по оптимизации электроэнергетических систем / Под ред. С. С. Роговского и Н. М. Шапиро. — М.: Энергия, 1977. — 288 с.
4. Применение статистических методов факторного планирования эксперимента и расчета к оценке статической устойчивости при учете неточности задания параметров схем и режимов электрических систем / В. А. Веников, Н. Д. Анисимов, Н. К. Врун, Е. М. Артемьева. — Сб.: Кибернетика и моделирование в энергетике. — М.: Наука, 1972. — С. 9—23.

УДК 621.317.531.7

С. П. ПАНОЯН

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Приведен анализ погрешностей двухканальной системы измерения перемещений применительно к дифференциальным индуктивным датчикам, который необходим для выявления основных метрологических характеристик и синтеза аналогичных измерительных систем. Показана возможность подавления используемым алгоритмом систематических погрешностей.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Բերված է անդաշարների շափման երկկապուղային համակարգի սխեմների գերլուծումը դիֆերենցիալ ինդուկտիվ ափիշների նկատմամբ, որը անհրաժեշտ է իմանալիս շափագրության բնութագրերի բացահայտման, ինչպես նաև նույնատիպ շափիչ համակարգերի համադրման համար: Ցույց է տրված կիրառվող ալգորիթմով համառոտուն սխեմների բացառման հնարավորությունը:

В работе [1] были рассмотрены предпосылки создания двухканальной системы измерения перемещений повышенной точности применительно к двум дифференциальным индуктивным датчикам.

В последующем будем исходить из предположения, что функция преобразования (ФП) перемещения X сердечника в индуктивность L обмотки дается многочленом второй степени

$$L_i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (1)$$

а ФП прямого канала, содержащего измерительный и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), линейна

$$n_i = C_0 + C_1 L_i, \quad (2)$$

где n_i — коды на выходе АЦП, а a_i и C_i — параметры ФП датчика и прямого канала преобразования сигнала.

В этом случае, измеряемое перемещение вычисляется по формуле

$$x = z \frac{b x_0}{a}, \quad (3)$$

где $z = \frac{n_1 - n_2}{n_2 - n_1}$; $a = a_1 + 2x_0 a_2$; $b = b_1 + 2x_0 b_2$; x_0 — нейтральное

положение сердечника, при котором индуктивности обмоток дифференциальных датчиков равны; X_0 — постоянное смещение сердечника вспомогательного датчика.

При этом, кроме указанных в [1], возникнут погрешности:

1. Погрешность аппроксимации действительной градуировочной характеристики канала преобразования информации принятой линейной моделью.

2. Динамическая погрешность, вызванная изменением измеряемого перемещения в процессе тактовых преобразований.

3. Погрешность квантования, вносимая вычислительным устройством.

4. Некоррелированная составляющая погрешности.

На рис. 1 показана реальная ФП прямого канала преобразования информации (кривая 1) и аппроксимирующая ее прямая 2, где приняты следующие обозначения: L_0 — индуктивность при нейтральном положении X_0 сердечника; L_1 , L_2 и L_3 , L_4 — индуктивности обмоток основного и вспомогательного дифференциальных датчиков в положениях $(X_0 \pm X_1)$ и $(X_0 \pm X_2)$ сердечника; X — измеряемое перемещение.

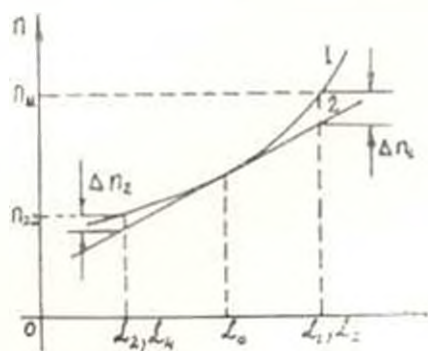


Рис. 1. Градуировочная характеристика прямого канала преобразования сигнала.

Из-за нелинейности ФП прямого канала точки n_{11} , n_{22} , n_{33} и n_{44} могут не лежать на аппроксимирующей прямой, что будет вызывать появление погрешностей во всех тактовых преобразованиях. Из (3) получаем выражение для относительной погрешности, вызванной линейной аппроксимацией реальной ФП прямого канала в виде

$$\varepsilon_k = 0,5 \left(\frac{\Delta n_1 - \Delta n_2}{\Delta X} - \frac{\Delta n_3 - \Delta n_4}{\Delta X_1} \right), \quad (4)$$

которое для конкретной измерительной системы является детерминированной величиной и может быть вычислена при известном ФП прямого канала. По существу рассмотренная ИС работает по принципу временного разделения каналов и является дискретной системой. Поэтому динамическая погрешность включает в себя следующие составляющие: а) погрешность, обусловленную нелинейностью канала преобразования сигнала; б) погрешность, вызванная изменением измеряемой величины в процессе тактовых преобразований. Первая из них свойственна любым системам и методы ее анализа хорошо разработаны. Вторая составляющая имеет особое значение, так измеряемая величина участвует в двух тактовых преобразованиях. Будем полагать, что цикл измерений начинается с преобразования индуктивностей обмоток вспомогательного датчика, которые не зависят от измеряемой величины. Далее

преобразуются параметры t_1 и t_2 основного датчика. Предположим также, что измеряемая величина в промежутке между тактовыми преобразованиями изменяется линейно (рис. 2), т. е.

$$x(t) = x(1 + \alpha_x t), \quad (5)$$

где α_x — коэффициент, характеризующий скорость изменения измеряемой величины.

Учитывая (1), (2) и (3), будем иметь

$$\delta_x(t_1) = \frac{2x_1 t_1}{2a} [a - \alpha_x x (x_1 t_1 + 2)]. \quad (6)$$

Из (6) можно получить условие равенства нулю погрешности в виде

$$\alpha_x x (x_1 t_1 + 2) = a. \quad (7)$$

Алгоритм (3) не учитывает погрешность квантования АЦП. Однако кодированные результаты имеют погрешности квантования Δn_1 , Δn_2 , Δn_3 и Δn_4 , наличие которых приводит к погрешности результата измерения. Эта составляющая может быть определена из (3) путем вычисления полного дифференциала и имеет вид

$$\delta_x = \gamma_1 \frac{\Delta n_1}{x} + \gamma_2 \frac{\Delta n_2}{x} + \gamma_3 \frac{\Delta n_3}{x} + \gamma_4 \frac{\Delta n_4}{x}, \quad (8)$$

где весовые коэффициенты γ_i равны:

$$\gamma_1 = -\gamma_2 = \frac{1}{2a}, \quad \gamma_3 = -\gamma_4 = \frac{x}{2bx_1}.$$

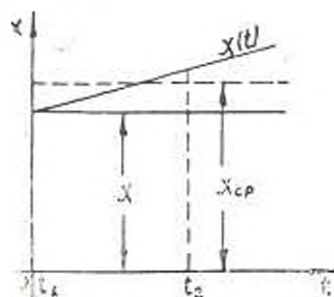


Рис. 2. График изменения измеряемой величины.

Погрешности Δn_i от квантования распределены по равномерному закону на участке от 0 до ΔA , где ΔA — максимальное значение погрешности, равное интервалу квантования [3]. Поэтому для математического ожидания и дисперсии погрешностей Δn_i можно записать

$$M\{\Delta n_i\} = \frac{\Delta A}{2}, \quad \sigma^2\{\Delta n_i\} = \frac{(\Delta A)^2}{12}. \quad (9)$$

δ_x является функцией четырех независимых случайных аргументов Δn_i и ее математическое ожидание и дисперсия, учитывая (8) и (9), могут быть представлены соотношениями

$$M[\delta_x] = 0, \quad \sigma^2[\delta_x] = \frac{(\Delta A)^2}{24} \cdot \frac{(1 + x^2)}{a^2 x^2}. \quad (10)$$

Используя методику, изложенную в [3], уравнение (2) с учетом некоррелированной составляющей погрешности представится в виде

$$\tilde{y}_1 = c_0 + c_1(t_1) + [c_2 + c_3(t_1)]L_1, \quad (11)$$

где $c_0(t_1)$ и $c_1(t_1)$ — стационарные случайные центрированные эргодические функции времени, имеющие нормальный закон распределения. Сравнивая (2) и (11), для абсолютной некоррелированной погрешности можно записать

$$\Delta y_1 = c_0(t_1) + c_1(t_1)L_1. \quad (12)$$

Из (8) и (12) получаем выражения для математического ожидания и дисперсии относительной аддитивной погрешности

$$M[\tilde{y}_{1,0}] = 0, \quad \sigma^2[\tilde{y}_{1,0}] = \frac{\sigma^2[c_0]}{2a^2x^2} (1 + x^2), \quad (13)$$

где $\sigma^2[c_0]$ — дисперсия случайной функции $C(t)$.

Аналогично определяются математическое ожидание и дисперсия относительной мультипликативной составляющей некоррелированной погрешности

$$M[\tilde{y}_{1,m}] = 0, \quad \sigma^2[\tilde{y}_{1,m}] = \frac{\sigma^2[c_1]}{2a^2x^2} [L_1^2 + L_2^2 + x^2(L_3^2 + L_4^2)]. \quad (14)$$

То обстоятельство, что математические ожидания $\tilde{y}_0$, $\tilde{y}_{1,0}$ и $\tilde{y}_{1,m}$ равны нулю, означают полное исключение всех погрешностей, которые остаются постоянными в процессе тактовых преобразований. Располагая числовыми оценками отдельных составляющих, можно найти соответствующие оценки результирующей погрешности без определения многомерных или результирующих одномерных законов распределения рассматриваемых случайных величин [2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Папова С. П. Теория двухканальной системы точного измерения переизменений // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. — 1987. — Т. 40, № 1. — С. 29—33.
2. Лещина Е. С., Носовский Н. В. Электронные измерения физических величин (измерительные преобразователи). — Л.: Энергоатомиздат, 1983. — 320 с.
3. Бромберг Э. М., Куликовский К. А. Технические средства повышения точности измерительных устройств. — М.: Энергия, 1978. — 176 с.

Лек. ф-л. БрПИ им. К. Маркса

5. IV, 1987

