

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал издаётся с 1947 г.
Выходит один раз в год на русском языке

Խ Ր Ա Յ Բ Ա Վ Ա Վ Ո Ջ Ի Ն Ի Ա

Մանյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Ազնից Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալ.բանեանի Վ. Վ., Անտյան Ա. Կ., Զաղարյան Մ. Ա., Հակոբյան Ռ. Ն.,
Սարգսյան Յու. Լ., Ստակյան Մ. Գ., Տեր-Ազարև Ի. Ա.,
Փլինթյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Պատասխանատու քարտեզագործ Ստեփանյան Չ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Аюни Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Анян А. К., Аюнян Р. Е., Забоян М. А.,
Пинавожян В. В. (зам. ответ. редактора), Саркисян К. А.,
Стакан М. Г., Тер-Азирьев И. А.,
Ответственный секретарь Степанян Э. К.



МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. К. ГЕВОРКЯН

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА
ИЗГИБНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

Зубья зубчатых колес имеют отклонения размеров в пределах допусков, разброс механических характеристик и, соответственно, значительное рассеивание ресурсов. Поэтому расчет зубчатых колес целесообразно проводить с применением вероятностных методов и теории подобия усталостного разрушения [1].

Цель данного исследования — получить формулы для оценки предела выносливости зубьев зубчатых колес, соответствующего заданной вероятности безотказной работы, по результатам испытаний на усталость цилиндрических образцов и образца — зубчатого колеса. В статье, в развитие работы [2], уточняется важный параметр условия подобия усталостного разрушения — расчетный наиболее напряженный объем зубьев.

Будем рассматривать (рис. 1) изменение первого главного напряжения по нормали к контуру зуба σ_y и вдоль контура σ_x около точки C , где действует максимальное значение этого напряжения $\sigma_{\max}$. Очевидно, что в точке C $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_{\max}$. Первое главное напряжение в различных точках зуба рассчитано с помощью метода конформного отображения [3]. Изменения этого напряжения по осям x и y вблизи точки C для различных чисел зубьев при коэффициенте смещения $X = 0$ приведены на рис. 2 и 3 сплошными линиями.

В наиболее опасном диапазоне (0,95—1,0) изменение первого главного напряжения по оси y можно принимать линейным, как показано штриховой линией на рис. 3. Тогда можно выразить

$$\sigma_y = \sigma_{\max} (1 - \bar{G}_y \cdot y), \quad (1)$$

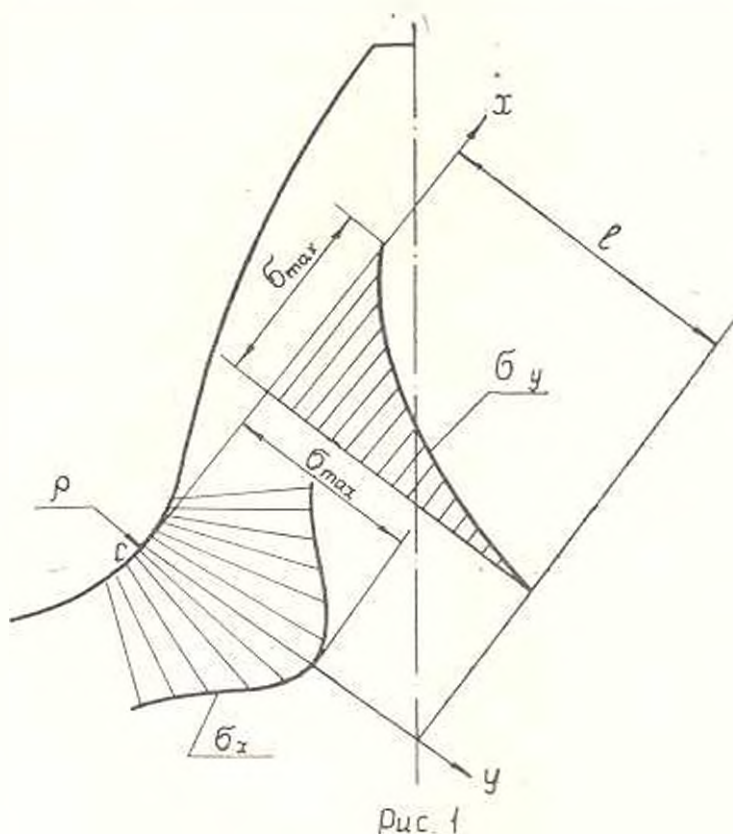
где y — расстояние, измеряемое по нормали к контуру зуба, от точки C до точки, в которой действует напряжение σ_y ; $\bar{G}_y$ — относительный градиент первого главного напряжения вблизи точки C :

$$\bar{G}_y = \frac{1}{\sigma_{\max}} \cdot \frac{\sigma_{\max} - \sigma_y}{y}. \quad (2)$$

Согласно [4] можно получить формулу для оценки изменения первого главного напряжения по оси x

$$\sigma_x = \sigma_{\max} \left(1 - K \frac{x^2}{r^2} \right), \quad (3)$$

где x — расстояние, измеряемое по оси x от точки C до точки, в которой действуют напряжения σ_x ; r — радиус выкружки в точке, в которой действуют напряжения $\sigma_{\max}$; K — коэффициент, учитывающий изменение первого главного напряжения по оси x , который согласно Нейберу определяется:



при растяжении — сжатии —

$$K_r = 1 + r/2a, \quad (4)$$

а при изгибе —

$$K_a = 1 + r/a. \quad (5)$$

здесь a — расстояние от точки на контуре, в котором действует максимальное напряжение, до оси детали.

Штриховой линией на рис. 2 нанесено изменение напряжения, определенное сложением действующих в зубьях местных напряжений изгиба и сжатия, рассчитанных по формуле (3), в которую вместо $\sigma_{\max}$, соот-

ветственно, подставлялись местные напряжения изгиба и сжатия, а вместо $K - K_p$ и K_{σ} . Заметно расхождение этих линий, которое может привести к неточности определения напряженного объема зубьев и оценки их надежности. С целью снижения погрешности расчета нами проведено уточнение значения K для зубчатых колес решением (3) относительно K . В табл. 1 представлены значения K в интересующих нас точках.

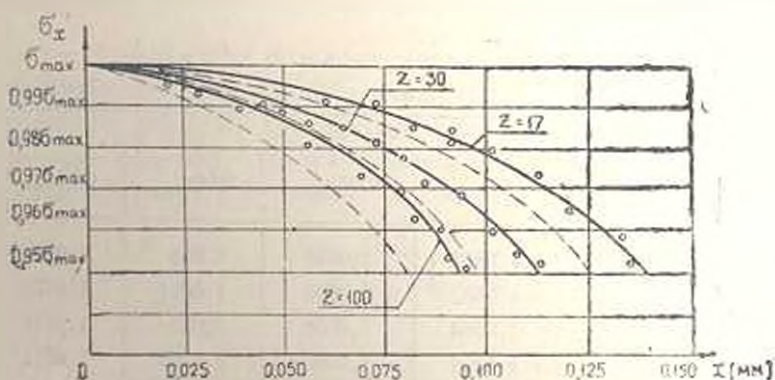


Рис. 2.

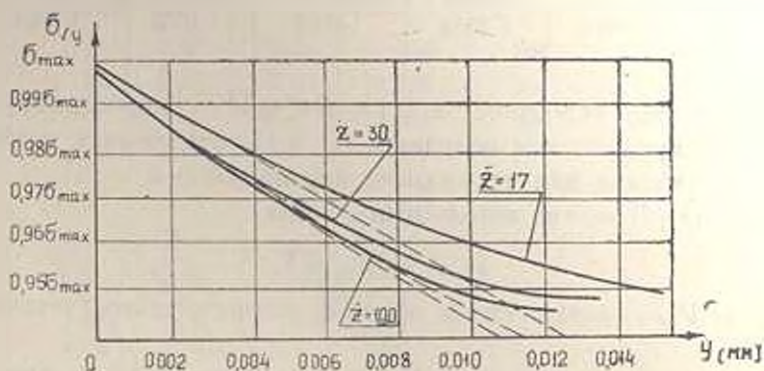


Рис. 3

Обработка результатов по методу наименьших квадратов показывает, что между коэффициентом K и отношением H/l существует следующая функциональная зависимость

$$K_{\text{зуб}} = \sqrt{1 + 0.24 H/l}, \quad (6)$$

где l — длина нормали до оси зуба, как показано на рис. 1. На рис. 2 точками показано изменение первого главного напряжения по контуру выкружки зуба, полученное расчетом по формулам (3), (6).

В работе [2] на основе статистической теории прочности «наиболее слабого звена» в предположении нормального распределения прочности звеньев и с учетом изменения первого главного напряжения по объему получена формула, позволяющая по результатам испытания образцов оценить предел выносливости детали σ_R , соответствующий вероятности безотказной работы P

$$\sigma_p = \bar{\sigma}_{06} [1 + v_{06} (\varepsilon U_p - \mu)], \quad (7)$$

где $\bar{\sigma}_{06}$, v_{06} — среднее значение предела выносливости, и коэффициент вариации цилиндрического образца; U_p — квантиль нормального распределения; μ — параметр положения, зависящий от отношения n напряженных объемов детали и образца; ε — параметр рассеивания, зависящий от n .

Таблица 1

ε	K				
	$0,99\sigma_{max}$	$0,98\sigma_{max}$	$0,97\sigma_{max}$	$0,96\sigma_{max}$	$0,95\sigma_{max}$
17	1,0847	1,0853	1,0858	1,086	1,0862
20	1,0678	1,0682	1,0684	1,0694	1,0707
25	1,056	1,0563	1,0568	1,057	1,0571
30	1,0496	1,0499	1,0508	1,0509	1,0511
40	1,0432	1,0438	1,0439	1,044	1,0442
60	1,0383	1,0389	1,039	1,0392	1,0395
100	1,0353	1,0354	1,0355	1,0355	1,0357

В диапазоне вероятностей $0,1 < P < 0,995$, аппроксимируя нормальным распределением величины ε_p , в [5] предложена методика и составлена таблица для нахождения параметров μ и ε .

Формулу (7) можно использовать, когда

$$n = V_d / V_{06} > 1, \quad (8)$$

где V_d и V_{06} — напряженные объемы, соответственно, детали и образца.

Может оказаться, что $n < 1$. Тогда надо использовать следующие формулы:

$$\bar{\sigma}_x = \bar{\sigma}_{06} (1 + v_{06} \mu^* / \varepsilon^*); \quad (9)$$

$$\sigma_p = \bar{\sigma}_x (1 + v_x \cdot U_p), \quad (10)$$

где μ^* , ε^* — параметры положения и рассеивания, вычисленные, по соответствию $n^* = 1/n$ и n^* при $U_p = -1$; $v_x = \frac{1}{\mu} + \frac{\varepsilon^*}{v_{06}}$ — коэффициент вариации предела выносливости детали.

Чтобы воспользоваться этими формулами при оценке надежности зубьев на изгиб по результатам испытания образцов с выточкой, следует оценить коэффициент n отношения напряженных объемов. Из уравнений (1), (3) получим размеры зоны сечения, в которой действуют повышенные напряжения

$$x = r \sqrt{\frac{1}{K} \left(1 - \frac{\sigma_x}{\sigma_{max}} \right)},$$

$$y = \frac{1}{\bar{\sigma}_y} \left(1 - \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} \right)$$

и по ним можно определить объемы

$$V_x \approx x_x \cdot y_x \cdot L; \quad (11)$$

$$V_{об} \approx x_{об} \cdot y_{об} \cdot L, \quad (12)$$

где L — часть периметра опасного сечения, прилегающая к зоне повышенной напряженности. На основании зависимостей вида (8), (11), (12) получена формула для определения коэффициента и отношения напряженных объемов, которая учитывает наиболее напряженный объем зуба и образца с выточкой

$$n = \frac{b \cdot \sigma_{\text{зуб}} \bar{\sigma}_{y_{об}}}{\pi d \gamma_{\text{об}} \bar{\sigma}_y} \sqrt{\frac{K_{об}}{K_{\text{зуб}}}} \quad (13)$$

Таблица 2

Поз.	d , мм	z , мм	$\bar{\sigma}_y$, 1/мм	σ_{-1} , МПа	$K_{об}$
1	5,52	0,26	8,062	240	1,0719
2	5,52	2	1,363	386	1,7246
3	7,52	12	0,482	440	4,1915



Рис. 4.

По данным табл. 2 [6] для нормального распределения предела выносливости на рис. 4 проведено сопоставление расчетного закона рас-

предела выносливости зуба зубчатого колеса с экспериментальными данными других авторов. Сплошной линией показано распределение предела выносливости, полученного экспериментальным путем, а штриховой линией — расчетные (номера соответствуют позициям образцов в табл. 2). Расчетный закон получен перерасчетом по формулам (7), (10), (13) с учетом коэффициентов, учитывающих характер цикла $R_z = 1,3$ и шероховатости $K_R = 0,87$:

$$\sigma_p = R_z K_R \bar{\sigma}_{-1} [1 + \psi_{\sigma} (n U_p - 1)] \quad \text{при } n > 1; \quad (14)$$

$$\sigma_p = R_z K_R \bar{\sigma}_{-1} (1 + \psi_{\sigma} U_p) \quad \text{при } n < 1. \quad (15)$$

Как видно на рис. 4, расхождение расчетных и экспериментальных данных, в среднем, не превышает 3—4%.

Подсчитав по формуле (13) отношение напряженных объемов детали и цилиндрического образца, изготовленных из материала одной плавки, и также имея экспериментальные данные среднего $\bar{\sigma}_{-1}$ и среднего квадратического отклонения $S_{\sigma-1}$ предела выносливости цилиндрического образца, по формулам (14) или (15) можно определить предел выносливости зуба зубчатого колеса, соответствующий заданной вероятности безотказной работы P .

Как показали многочисленные эксперименты [1], оценки рассеивания характеристик сопротивления усталости детали при помощи коэффициента вариации предела выносливости образца имеют существенное расхождение. Погрешность оценки можно свести к минимуму, если иметь результаты экспериментов на сопротивление усталости идентичной детали при отнулевом цикле. Для получения данных среднего и среднего квадратического отклонения предела выносливости детали согласно ГОСТ 21078-79 рекомендуется испытывать не менее 20 образцов. Это свидетельствует о целесообразности испытаний зубчатых колес с числом зубьев $z \geq 20$. В качестве образца нами предлагается взять наиболее часто применяемое в машинах и испытаниях зубчатое колесо с $z = 28$ и $m = 3$ мм. С учетом значения параметра этого зубчатого колеса $\rho = 1,5609$ мм, $L = b = 10$ мм, $\bar{\sigma}_y = 4,971$ мм, $K = 1,051$ формулу (13) можно представить в виде

$$n = 0,316 \frac{\sigma - \bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_y / K_{\text{dyn}}} \quad (16)$$

Обозначим в формуле (7)

$$[1 + \psi_{\sigma} (n U_p - 1)] = K_R, \quad (17)$$

тогда

$$\sigma_p = \bar{\sigma}_{z=28} K_R, \quad (18)$$

где K_R — коэффициент надежности зуба зубчатого колеса, соответствующий вероятности безотказной работы P ; $\bar{\sigma}_{z=28}$ — среднее значение предела выносливости зуба зубчатого колеса с $z = 28$ и $m = 3$ мм.

Если по формуле (16) $n < 1$, тогда надо использовать зависимости (9) и (10).

Таблица 3

n	K_R		
	$P = 0,95$	$P = 0,99$	$P = 0,995$
1	0,77	0,674	0,64
1,5	0,744	0,654	0,621
2	0,726	0,64	0,607
2,5	0,713	0,625	0,601
3	0,701	0,618	0,587
3,5	0,694	0,612	0,58
4	0,685	0,606	0,574
4,5	0,68	0,602	0,569
5	0,675	0,597	0,567
5,5	0,671	0,592	0,562
6	0,667	0,587	0,557
6,5	0,663	0,583	0,554
7	0,658	0,579	0,551
7,5	0,654	0,576	0,549
8	0,651	0,574	0,546
8,5	0,649	0,572	0,544
9	0,646	0,569	0,542
9,5	0,643	0,565	0,541
10	0,64	0,56	0,539

Для инженерных расчетов в табл. 3 приведены значения K_R , рассчитанные по зависимости (16), (17) для различных вероятностей безотказной работы. Графические построения показали, что в диапазоне $P = 0,7 \div 0,995$ связь между n и K_R практически линейна. Это позволяет определить K_R для промежуточных значений n линейной интерполяции по табличным значениям.

Экспериментально полученные среднее и среднее квадратическое отклонения предела выносливости зуба зубчатого колеса с $z = 28$ и $m = 3$ мм по формулам (16) — (18) пересчитаны на значения для $z = 17$, $m = 6$ мм и $z = 34$, $m = 6$ мм. Результаты пересчета показаны штрихпунктирной линией на рис. 4, откуда видно, что расхождение между расчетным законом распределения пределов выносливости и экспериментальными данными, в среднем, составляет 1,5—2,5%, которое можно считать приемлемым для технических расчетов.

Проведенные исследования позволяют вместо неопределенной величины коэффициента запаса прочности оценить вероятность безотказной работы зубчатого колеса. В дальнейшем точность предлагаемого метода предполагается уточнить по результатам специально организованных испытаний на надежность зубьев зубчатых колес.

ԱՏԱՐԱՆԱՎԻ ԱՏԱՄԻ ՆՌՄԱՆ ԳԻՄՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ
ՍԱՀՄԱՆԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ամբոթյան փհակադրական «ստավել թույլ օղակի» տեսության հիման վրա և օղակների ամբոթյան նորմալ բաշխման ենթադրմամբ տալարված է մեթոդ ատամնանվի ատամների դիմացկունության սահմանի ղնահատման համար, որը համապատասխանում է անխափան աշխատանքի տրված հալա-նականությանը: Առաջարկված մեթոդում ընդունված թույլատվությունները հա-տատվում են հաշվարկման արդյունքների և փորձնական տվյալների համընկ-ման բարձր ճշտությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Серенсен С. В., Когачи В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М., «Машиностроение», 1975.
2. Решетов Д. П., Иванов А. С. Оценка влияния абсолютных размеров на прочность детали по рассеиванию характеристик прочности образцов. «Вестник машиностроения», 1978, № 7.
3. Устищенко В. Л. Напряженное состояние зубьев цилиндрических прямозубых колес. М., «Машиностроение», 1972.
4. Ваганов Р. Л. Статистическая теория рассеивания случайной координаты повреждения тела. «Машиноведение», 1970, № 4.
5. Решетов Д. П., Иванов А. С., Фадеев В. Э. Оценка надежности системы типа цепи. «Известия ВУЗов. Машиностроение», 1978, № 11.
6. Тибанов В. П. Исследование прочности валов осей при разных температурах. Автореферат канд. диссерт. М., МВТУ, 1972.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

С. Г. ПОПНЬЯН, А. А. ГЮЛЗАДЯН

К РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

В [1] и в Руководствах [2, 3] предложен приближенный метод расчета деформаций обычных и предварительно напряженных железобетонных изгибаемых элементов, основанный на оценке граничных значений $\frac{l}{h_0}$ (l — пролет элемента, h_0 — полезная высота), соответствующих условию неперевышения прогибов заданных допустимых величин. При выполнении условия

$$\frac{l}{h_0} \leq l_{гр}, \quad (1)$$

где $l_{гр}$ — граничное значение отношения пролета к рабочей высоте, проверку прогибов можно не производить. При этом, значения $l_{гр}$ приводятся в зависимости от параметра ρ , где $\rho = \frac{F_a}{F_b}$ — коэффициент

армирования, $n = \frac{E_a}{E_b}$ — отношение модулей упругости арматуры и бетона. Это, однако, означает, что такая проверка может быть выполнена лишь после подбора рабочей арматуры F_a , и если условие (1) не выполняется, то сечение элемента необходимо изменить.

В [4, 5] для железобетонных элементов без преднапряжения предлагается вариант изложенного выше способа, в котором на основе параметра $\frac{l}{h_0}$ прогибы могут оцениваться независимо от коэффициента армирования, поэтому такая оценка может быть выполнена предварительно, до подбора рабочей арматуры.

Нами предлагается общий метод предварительной оценки прогибов и трещиностойкости изгибаемых обычных и предварительно напряженных элементов, позволяющий отказаться в стадии проектирования от расчетов по второй группе предельных состояний и существенно упростить процесс подбора сечений.

Рассмотрим свободно опертую преднапряженную балку прямоугольного сечения, загруженную равномерно распределенной нагрузкой (рис. 1). Размеры сечения балки — b и h_0 , пролет — l . Категория требо-

ваний к трещиностойкости — 3-я, т. е. в стадии эксплуатации допускаются как кратковременное, так и длительное раскрытие трещин. При одиночном армировании несущая способность сечения будет равна

$$M_{сеч} = R_s F_s h_0 \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{np}} \cdot \mu \right), \quad (2)$$

откуда

$$\frac{M_{сеч}}{bh_0} = R_s \mu \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{np}} \cdot \mu \right). \quad (3)$$

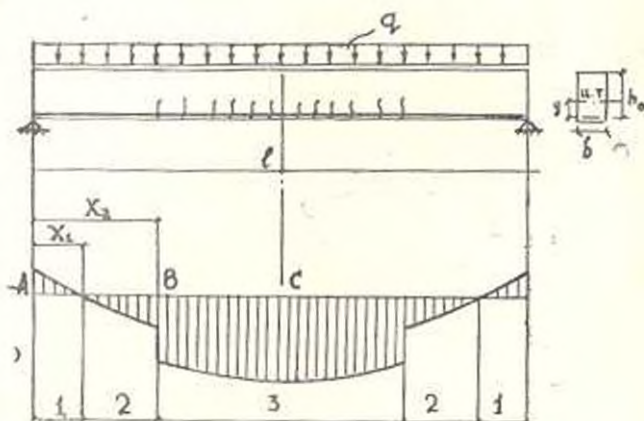


Рис. 1. Эпюра $\frac{1}{\rho}$ для изгибаемого преднапряженного элемента, работающего с трещинами в растянутой зоне.

Момент в середине пролета будет

$$M = 0,125ql^2, \quad (4)$$

что также можно представить

$$\frac{M}{bh_0^2} = \frac{0,125ql^2}{bh_0^2}. \quad (5)$$

Приравняв (3) и (5), получим

$$\frac{q}{b} = \frac{8R_s \mu \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{np}} \cdot \mu \right)}{\left(\frac{l}{h_0} \right)^2}. \quad (6)$$

Далее рассмотрим расчет прогибов балки, работающей с трещинами в растянутой зоне. Эпюра кривизны будет иметь три характерных участка:

участки 1, где кривизна сечений $\frac{1}{\rho} < 0$;

участки 2, где $\frac{1}{\rho} \geq 0$ при $M < M_7$;

участок 3, где $\frac{1}{\delta} > 0$ при $M > M_1$,

здесь M_1 — момент трещинообразования.

Кривизна $\frac{1}{\rho}(x)$ на каждом участке без трещин и с трещинами определяется по формулам норм [3] с учетом кратковременного и длительного воздействия нагрузок и выгиба.

Кривизна сечения в точке А будет

$$\frac{1}{\rho_A} = \frac{B_1}{E_s h_0},$$

где $B_1 = \frac{k_1 \cdot n \cdot \sigma_{\text{ср}} + 0,85 z_1 \cdot \sigma_{\text{ср}}}{0,85 z_1}$, $\sigma_{\text{ср}}$ — предельное напряжение в арматуре с

учетом полных потерь; $k_1 = \frac{\gamma}{h_0} z_1$; $z_1 = z_0 + z_1 + z_2$, [3]; $z = \frac{I_{\text{пр}}}{bh_0^3}$;

$I_{\text{пр}}$ — момент инерции приведенного сечения.

Кривизна сечения в точке В при отсутствии и наличии трещин определяется соответственно:

$$\frac{1}{\rho_B} = \frac{B_2}{E_s h_0}, \quad \frac{1}{\rho_B} = \frac{B_3}{E_s h_0},$$

где

$$B_2 = \frac{M_1 (2 - k_1) - \delta h_0^3 (k_2 n \sigma_{\text{ср}} + 0,85 z_1 \sigma)}{0,85 b h_0^3 z},$$

$$B_3 = \frac{M_1}{z_1 \delta h_0} \left[\frac{k_1 (\psi_{2, \text{кр}} - \psi_{2, \text{дл}}) - \psi_{2, \text{дл}}}{n} + \frac{z_1 n}{1} \left(\frac{1 - k_1}{\psi_{2, \text{дл}}} - \frac{k_1}{\psi_{\text{кр}}} \right) \right] - z_0 [k_1 (\psi_{2, \text{кр}} - \psi_{2, \text{дл}}) - \psi_{2, \text{дл}}] - z_1, \quad (7)$$

где $k_1 = \frac{M_{\text{кр}}^n}{M}$; $M_{\text{кр}}^n$ — нормативный (расчетный при коэффициенте перегрузки $n_{\text{пер}} = 1$) момент от кратковременно действующей части нагрузки; M^n — нормативный момент от полной нагрузки; z_1 — плечо внутренней пары [3]; $\psi_{2, \text{кр}}$ и $\psi_{2, \text{дл}}$ — значения коэффициента ψ_2 , определенные от кратковременно и длительно действующих частей нагрузок; $\psi_{\text{кр}} = 0,45$; $\psi_{\text{дл}} = 0,15$ [3]. И наконец, кривизна сечения в точке С будет равна $\frac{1}{\rho_C} = \frac{B_4}{E_s h_0}$, где B_4 определяется по выражению (7), при этом вместо M_1 подставляется значение нормативного момента от полной нагрузки M^n .

При вычислениях значение M_1 заменялось соответствующим выражением по [1], а M^n принималось равным $\frac{M_{\text{кр}}^n}{n_{\text{пер}}}$ по формуле (2).

Зависимость $\varepsilon_{02} = f(\varepsilon_0, R, \mu)$ с учетом потерь, преднапряжения оценивалась по методике [6], значения ε_0 принимались наибольшими для заданного класса арматуры.

Произведя необходимые вычисления по формуле Максвелла-Мора, получим выражение для определения прогиба в середине пролета

$$f = f^2 \frac{A}{h_0}, \quad (8)$$

где $A = f(E_1, B_1, B_2, B_3, B_4, a, b)$; $a = \frac{x_1}{l}$; $b = \frac{x_2}{l}$ (рис. 1).

Из (8) можно написать:

$$\frac{l}{h_0} = \frac{f}{l} \cdot \frac{1}{A}, \quad (9)$$

при этом, подставив в (9) вместо $\frac{f}{l}$ предельные значения $\left| \frac{f}{l} \right|$, получим выражение (10) для определения граничного $\frac{l}{h_0}$, соответствующего условию равенства относительного прогиба предельному

$$\frac{l}{h_0} = \left| \frac{f}{l} \right| \cdot \frac{1}{A}. \quad (10)$$

Рассмотрим формулы (10) и (6) совместно. При известных марке бетона, классе арматуры и $\left| \frac{f}{l} \right|$ каждому значению коэффициента

армирования μ будет соответствовать одна пара значений $\frac{l}{h_0}$ и $\frac{q}{b}$,

определяемых по (10) и (6). Меняя значение μ от минимально допустимого при изгибе и до наибольшего, определяемого из условия достижения границы персармирования, можно построить кривые зависимости $\frac{q}{b} = f\left(\frac{l}{h_0}\right)$. На рис. 2 показана указанная зависимость при

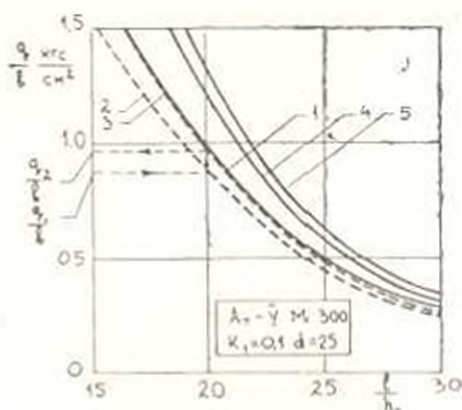
$\left| \frac{f}{l} \right| = \frac{1}{200}$ и $k_1 = 0,1$ для элемента из бетона М300, армированного арматурой класса Ат-V (кривая 1). Если при проектировании значение $\frac{q}{b}$ известно и допустимый прогиб равен $\frac{1}{200} \cdot l$, то приняв

$\frac{l}{h_0}$ не более, чем соответствующая абсцисса построенной кривой,

расчет прогибов при указанных выше параметрах конструкции можно не производить, т. к. прогиб не будет превышать принятое ранее значение $\frac{1}{200} \cdot l$.

Рис. 2. Зависимость $\frac{q}{b}$ от $\frac{l}{h_0}$ для напряженного элемента, удовлетворяющего требованиям 3-ей категории по трещиноустойчивости

- 1 — $\left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{200}$; 2 — $[a_{t, \text{дл}}] = 0,30 \text{ мм}$
 3 — $[a_{t, \text{кр}}] = 0,15 \text{ мм}$; 4 — $[a_{t, \text{дл}}] = 0,30 \text{ мм}$
 5 — $[a_{t, \text{кр}}] = 0,40 \text{ мм}$



Рассмотрим расчеты по раскрытию трещин. На основе [7] при требованиях 3-й категории ширина кратковременного и длительного раскрытия трещин определяется:

$$a_{t, \text{кр}} = 1,5 \left[\frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{\text{кр}}} \cdot \mu \right) (1 - 0,333k_1)}{n_{\text{пер}} \cdot k_2} - \sigma_{02} \right] L; \quad (11)$$

$$a_{t, \text{дл}} = 1,5 \left[\frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{\text{дл}}} \cdot \mu \right) (1 - k_1)}{n_{\text{пер}} \cdot k_2} - \sigma_{02} \right] L, \quad (12)$$

где $k_2 = \frac{z_1}{h_0}$; $l = \gamma_1 \frac{20(3,5 - 100s) \sqrt{d}}{E_1}$; $\mu = \frac{F_2}{F_0}$, но не более 0,02 [3].

Из (12) получим:

$$R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{\text{дл}}} \cdot \mu \right) \cdot \mu = \frac{n_{\text{пер}} \cdot k_2 \cdot \mu \left(\frac{a_{t, \text{дл}}}{1,5L} + \sigma_{02} \right)}{1 - k_1}, \quad (13)$$

а из совместного решения (13) и (6)

$$\frac{q}{b} = \frac{8n_{\text{пер}} \cdot k_2 \cdot \mu \left(\frac{a_{t, \text{дл}}}{1,5L} + \sigma_{02} \right)}{\left(\frac{l}{h_0} \right)^2 (1 - k_1)}. \quad (14)$$

Аналогично, для кратковременного раскрытия трещин получим

$$\frac{q}{b} = \frac{8n_{\text{пер}} \cdot k_2 \cdot \mu \left(\frac{a_{t, \text{кр}}}{1,5L} + \sigma_{02} \right)}{\left(\frac{l}{h_0} \right)^2 (1 - 0,333k_1)}. \quad (15)$$

Рассматривая выражения (14) и (15) совместно с (10), можно построить кривые, соответствующие предельно допустимой ширине для тельного и кратковременного раскрытия трещин. На рис. 2 указанная зависимость построена для допустимых значений $a_{т.кр} = 0,4$ мм, $a_{т.дл} = 0,3$ мм, что согласно [3] предусмотрено для конструкций, армированных арматурой Ат—V и эксплуатируемых в нормальных условиях (кривые 4 и 5).

При совместном рассмотрении требований по прогибам и раскрытию трещин для каждого элемента на графике $\frac{q}{b} = f\left(\frac{l}{h_0}\right)$ будут три кривые: одна — полученная из условия обеспечения прогиба и две — из условия обеспечения кратковременного и длительного раскрытия трещин. Решающим из них при подборе $\frac{l}{h_0}$ будет кривая, расположенная ниже остальных, в данном случае кривая 1, соответствующая предельному прогибу. Если та же конструкция будет эксплуатироваться в агрессивной среде и допустимые значения для раскрытия трещин будут меньше, например, $a_{т.дл} = 0,05$ мм, $a_{т.кр} = 0,15$ мм, решающим при подборе $\frac{l}{h_0}$ будет уже кривая 2, полученная из условия обеспечения трещиностойкости. В этом случае при заданном $\frac{q_1}{b}$ значение $\frac{l}{h_0}$ подбирается по кривой 2, а расчет прочности производится по нагрузке $\frac{q_1}{b}$, соответствующей при том же $\frac{l}{h_0}$ кривой 1. Таким образом, формально арматура подбирается по условию прочности, но в случае относительно жестких требований по трещиностойкости в расчет вводится не фактическая расчетная нагрузка, а условно повышенная нагрузка, которая учитывает необходимость увеличения арматуры для обеспечения трещиностойкости.

Следует отметить, что на рис. 2 каждому значению $\frac{l}{h_0}$ на кривой 1 соответствует свой процент армирования, удовлетворяющий при заданном $\left|\frac{F}{l}\right|$ равенству (10). При этом, если нагрузка будет меньше, чем это соответствует ординате кривой 1, то будут меньше и процент армирования и прогиб элемента, т. е. вся область ниже кривой 1 удовлетворяет условиям прогибов. Что же касается ширины раскрытия трещин, то известно, что с уменьшением процента армирования она растет. Этот вопрос рассмотрим несколько подробнее.

Введем параметр η , равный отношению $\frac{q_1}{q_1}$ (рис. 2) и учитывающий необходимость условного увеличения расчетной нагрузки. Из (6) и (14) получим

$$\theta = \frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{np}} \cdot \mu \right) (1 - k_1)}{n_{пер} \cdot b \left(\frac{a_{т.т.}}{1,5l} + \tau_{02} \right)} \quad (16)$$

Аналогично, из (6) и (15):

$$H = \frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{np}} \cdot \mu \right) (1 - 0,333k_1)}{n_{пер} \cdot k_2 \left(\frac{a_{т.т.}}{1,5l} + \tau_{02} \right)} \quad (17)$$

По формуле (6) для разных значений $\frac{l}{h_0}$ построим зависимость $\frac{a}{b}$ и μ (рис. 3), при этом наибольшее μ при заданном $\frac{l}{h_0}$ и $\left| \frac{f}{l} \right|$ будет то, которое соответствует равенству (10). На этом же рисунке показана зависимость H от μ при разных требованиях по трещиностойкости. Практический интерес представляют только значения $H \geq 1$.

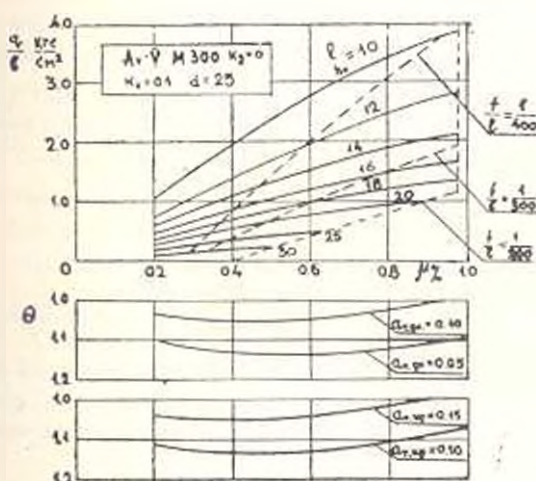


Рис. 3. График для подбора сечения арматуры с учетом обеспечения деформации и трещиностойкости.

Соотношение между $\frac{q_1}{b}$ и $\frac{q_2}{b}$ при заданном $\frac{l}{h_0}$ можно построить по формулам (6) и (14), (15), меняя в них μ от минимального значения до максимального из условия обеспечения прогибов. Это позволит при выбранном из условия прогибов $\frac{l}{h_0}$ и при известных требованиях по трещиностойкости для каждого $\frac{q_1}{b}$ иметь соответствующую



щес $\frac{q_2}{b}$ и при проектировании ограничиться только лишь расчетом прочности под условно увеличенной нагрузкой $\frac{q_2}{b}$.

ЕрИИ им. К. Маркса

Поступило 25.VI.1981

Ս. Պ. ԻՈՅՆԻՍՅԱՆ, Շ. Շ. ՊՅՈՒՆՉԱՅԱՆ

ՐՈՏ ԵՐԿՐՈՐԴ ԽՄԲԻ ՈԱՀՄԱՆԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿՆԵՐԻ ԵՐԿԱԹՐԵՏՈՆԻ
ՎՈՆՈՏՐՈՒՑԻԱՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՎԵՐԱԵՐԵՏԱԼ

Ո Ւ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Առաջարկվում է սովորական և նախապես շարժած երկաթբետոնե ծափոց էլեմենտների համար ըստ երկրորդ խմբի սահմանային վիճակների հաշվարկները (գեֆորմացիա և ճարակայունություն) կապել $\frac{l}{h_0}$ պարամետրի հետ, որտեղ l -ը էլեմենտի թափըն է, իսկ h_0 -ն՝ հատվածի օգտակար բարձրությունը: Ամրանի բնորոշյան համար մտցվում է հաշվարկային բևեռ հշտված արժեք: Իս հնարավորություն է ստեղծում այլևս շկատարել ըստ երկրորդ խմբի սահմանային վիճակների հաշվարկները, բանի որ ճարակայունության և գեֆորմացիաների պահանջները նախապես ապահովվում են: Առաջարկված մոտեցումը արմատապես պարզեցնում է հատվածի հաշվարկը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аалесон А. С., Филаретский В. В. Практический метод расчета железобетонных конструкций по деформациям. М., Стройиздат, 1976.
2. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). М., Стройиздат, 1977.
3. Руководство по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона. М., Стройиздат, 1977.
4. Berby A. W. Span/effective depth ratios. Concrete, vol. 13, № 2, 1979.
5. British Standard Institution. The structural use of concrete. British Standard Code of Practice, CP110, 1972.
6. Байков В. И., Складнев Н. И. Оптимальное проектирование предварительно напряженных ж. б. конструкций. Докл. на VIII конгр. ФНИИ. М., изд. МИСН, 1978.
7. Ионкисян С. Г., Гюлалян А. А. К расчету предварительно напряженных ж. б. конструкций по раскрытию трещин. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», 1 XXXIII, № 5, 1980.

ЭНЕРГЕТИКА

С. И. ЦАТУРЯН, С. С. МАРКЕЛОВ

О СРЕДНЕМ ЗНАЧЕНИИ ДАВЛЕНИЯ И АККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГАЗОПРОВОДА С РЕЗКИМ РАСШИРЕНИЕМ ПРИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ПОДКАЧКЕ

§ 1. *Постановка задачи.* Стационарное одномерное и изотермическое движение газа в магистральном газопроводе при сосредоточенной подкачке в рамках допускаемой линеаризации описывается системой дифференциальных уравнений [1, 2]:

$$\begin{cases} r \frac{dp}{dx} = -\lambda \rho u^2; & a = \frac{g}{12}; \\ \frac{d}{dx} (\rho u s) - G_1 \delta_1(x - x_1) = 0; & p = g R T_p, \end{cases} \quad (1.1)$$

где p , ρ , u — средние значения по сечению давления, плотности и скорости газового потока; r — радиус трубы; g — ускорение силы тяжести; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура газового потока; x — координата, отсчитываемая вдоль газопровода; s — площадь поперечного сечения; λ — безразмерный коэффициент сопротивления; G_1 — сосредоточенная подкачка в точке x_1 ; $\delta_1(x)$ — дельта-функция Дирака.

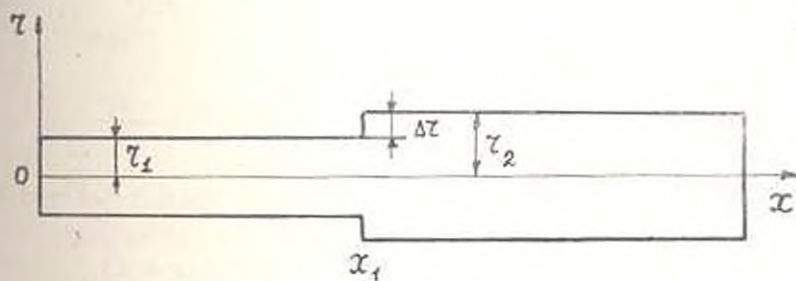


Рис. 1. Схема газопровода.

Допустим, что для увеличения пропускной способности газопровода [1], труба радиуса r_1 на расстоянии x , (где производится подкачка) от его начала заменена трубой радиусом r_2 ($r_2 > r_1$). В этом случае

в точке x , имеем резкое расширение трубопровода (рис. 1). Радиус газопровода при этом:

$$r = r_1 [1 + \alpha z_0(x - x_1)], \quad (1.2)$$

где $\alpha = \frac{r_2 - r_1}{r_1}$; $z_0(x)$ — единичная функция Хевисайда.

Из первого уравнения системы (1.1) имеем:

$$\alpha a = -\frac{r}{3a} \frac{dp}{dx}, \quad (1.3)$$

из второго ($s = \pi r^2$) —

$$\frac{d}{dx}(\alpha a) + \frac{2}{r}(\alpha a) \frac{dr}{dx} = -\frac{G_1 z_0(x - x_1)}{\pi r^2}. \quad (1.4)$$

В силу (1.2) и (1.3) выражение (1.4) примет вид:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} + \frac{3\alpha z_1(x - x_1)}{1 + \alpha z_0(x - x_1)} \frac{dp}{dx} = -\frac{3a}{\pi r_1^3} \frac{(i_1 z_1(x - x_1))}{[1 + \alpha z_0(x - x_1)]^2}. \quad (1.5)$$

Пусть:

$$\begin{aligned} p &= p_n \quad \text{при } x = 0; \\ p &= p_k \quad \text{при } x = l, \end{aligned} \quad (1.6)$$

где l , p_n , p_k — длина газопровода, давление газа в его начале и конце.

Сущность работы заключается в следующем: решить дифференциальное уравнение (1.5) при крайних условиях (1.6) с целью определения: 1) давления газа в любом сечении газопровода; 2) среднее давление газа на первом (до расширения) и втором (после расширения) участках газопровода и по всей его длине; 3) получить формулу, характеризующую аккумулирующую способность газопровода как функцию от α , x , и G_1 .

§ 2. Решение уравнения (1.5) при условии (1.6). Так как [3]:

$$\frac{z_1(x - x_1)}{1 + \alpha z_0(x - x_1)} = \frac{z_1(x - x_1)}{1 + \alpha}, \quad \frac{\alpha_1(x - x_1)}{[1 + \alpha z_0(x - x_1)]^2} = \frac{z_1(x - x_1)}{(1 + \alpha)^2},$$

то уравнение (1.5) примет вид

$$\frac{d^2 p}{dx^2} + \frac{3\alpha z_1(x - x_1)}{1 + \alpha} \frac{dp}{dx} = -\frac{3a(i_1)}{\pi r_1^3} \frac{z_1(x - x_1)}{(1 + \alpha)^2}. \quad (2.1)$$

Следуя [4], введем безразмерные величины $p = p_n p^*$, $x = lz$ в уравнение (2.1) и граничные условия (1.6):

$$\frac{d^2 p}{dz^2} + \frac{3\alpha z_1(z - z_1)}{1 + \alpha} \frac{dp}{dz} = -\frac{3alG_1 z_1(z - z_1)}{\pi r_1^3 p_n (1 + \alpha)^2}; \quad (2.2)$$

$$p = 1 \quad \text{при } z = 0$$

$$p = k \quad \text{при } z = 1; \quad k = \frac{p_k}{p_n} < 1. \quad (2.3)$$

Здесь и в дальнейшем ради простоты звездочки опущены. Применяя интегральное преобразование Лапласа и имея в виду основные свойства функции Дирака, решение уравнения (2.2) при граничных условиях (2.3) можно записать в виде

$$p(z) = 1 - (1-k)z - \frac{3\{a(1+\alpha)(1-k) - bG_1\}}{(1+\alpha)(1+\alpha+3az_1)} \times \\ \times [z(1-z_1) - (z-z_1)z_0(z-z_1)], \quad (2.4)$$

где $0 = aI/\pi r_1^3 \rho_m$.

Если $\alpha = 0$, то из (2.4) получим

$$p(z) = 1 - (1-k)z + 3bG_1[z(1-z_1) - (z-z_1)z_0(z-z_1)]. \quad (2.5)$$

Соотношение (2.5) совпадает с результатами [1, 2] для простого газопровода с путевым приходом.

§ 3. *Определение среднего давления.* Оно определяется как среднее-интегральное значение давления вдоль трассы трубопровода

$$p_{cp} = \int_0^1 p(z) dz,$$

где $p(z)$ вычисляется из (2.4). Представим p_{cp} в виде

$$p_{cp} = p_{1cp} + p_{2cp} = \int_0^{z_1} p(z) dz + \int_{z_1}^1 p(z) dz, \quad (3.1)$$

где p_{1cp} , p_{2cp} — средние значения давления на первом и втором участках газопровода.

С учетом (2.4), после интегрирования для p_{1cp} и p_{2cp} получим:

$$p_{1cp} = z_1 - \frac{1-k}{2} z_1^2 - \frac{\Omega}{2} (1-z_1) z_1^2; \quad (3.2)$$

$$p_{2cp} = (1-z_1) - \frac{1-k}{2} (1-z_1^2) - \frac{\Omega z_1}{2} (1-z_1)^2, \quad (3.3)$$

где

$$\Omega = \frac{3\{a(1+\alpha)(1-k) - bG_1\}}{(1+\alpha)(1+\alpha+3az_1)}.$$

Из (3.1) с учетом (3.2) и (3.3) среднее значение давления вдоль трассы трубопровода определится по формуле

$$p_{cp} = \frac{1+k}{2} - \frac{3\{a(1+\alpha)(1-k) - bG_1\} z_1 (1-z_1)}{2(1+\alpha)(1+\alpha+3az_1)}, \quad (3.4)$$

Определим место вставки, т. е. z_1 , для которого среднее значение давления вдоль всей трассы при фиксированном α и отсутствии сосредоточенной подкачки было бы наименьшим. Из (3.4), z_1 определится формулой

$$z_1 = z_1^* = \frac{-(1+\alpha) + \sqrt{1+5\alpha+4\alpha^2}}{3\alpha} \quad (3.5)$$

Оттуда же следует, что при фиксированном α , если $\alpha < A$, где

$$A = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + 4 \frac{6G_1}{1-k}}, \quad (3.6)$$

величина $p_{\text{ср}}$ при $\alpha = z_1^*$ достигает максимального, а при $\alpha > A$ — минимального значения.

Среднее значение давления в простом газопроводе ($\alpha = 0$, $G_1 = 0$) обозначим через $p_{0\text{ср}}$. Тогда из (3.4) получим

$$p_{0\text{ср}} = \frac{1+k}{2}$$

Независимо от z_1 , согласно (3.4) условие равенства $p_{\text{ср}} = p_{0\text{ср}}$ имеет место при

$$\alpha = A. \quad (3.7)$$

§4. *Определение количества газа, содержащегося в газопроводе.* Количество газа Q , содержащегося в простом газопроводе, определяется формулой

$$Q = \frac{sL}{RT} p_{\text{ср}}, \quad (4.1)$$

которая для нашего случая запишется в виде

$$Q = \frac{lp^*}{RT} [s_1 z_1 p_{1,\text{р}} + s_2 (1 - z_1) p_{2,\text{р}}], \quad (4.2)$$

где s_1 , s_2 — площадь поперечного сечения до и после расширения; $p_{1,\text{ср}}$ и $p_{2,\text{ср}}$ — определяются выражениями (3.2) и (3.3). Имея в виду, что $s_2 = s_1 \times (1+\alpha)^2$ и в силу соотношения (3.2) и (3.3), выражение (4.2) примет вид

$$Q^* = \frac{Q}{Q_0} = [z_1^2 + (1+\alpha)^2 (1 - z_1)^2] \left\{ 1 - \frac{\alpha}{2} z_1 (1 - z_1) \right\} - \\ - \frac{1-k}{2} [z_1^2 + (1 - z_1)^2 (1 + z_1) (1 + \alpha)^2],$$

где $Q_0 = s_1 L p_{0\text{ср}} / RT$.

§ 5. *Пример.* Пусть [2]:

$$p_{\text{н}} = 39,24 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}; \quad p_{\text{к}} = 31,39 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}; \quad \lambda = 0,012; \\ R = 490,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad T = 300 \text{ К}; \quad L = 10^3 \text{ м}; \\ r_1 = 0,35 \text{ м}; \quad r = 0,5 \text{ м}; \quad u_{\text{ср}} = 14 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

тогда $\alpha = 0,43$, $b = 0,026 \frac{\text{м}}{\text{Нс}}$, $G_0 = 57,1 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ [5].

На рис. 2—3 представлены результаты вычислений.

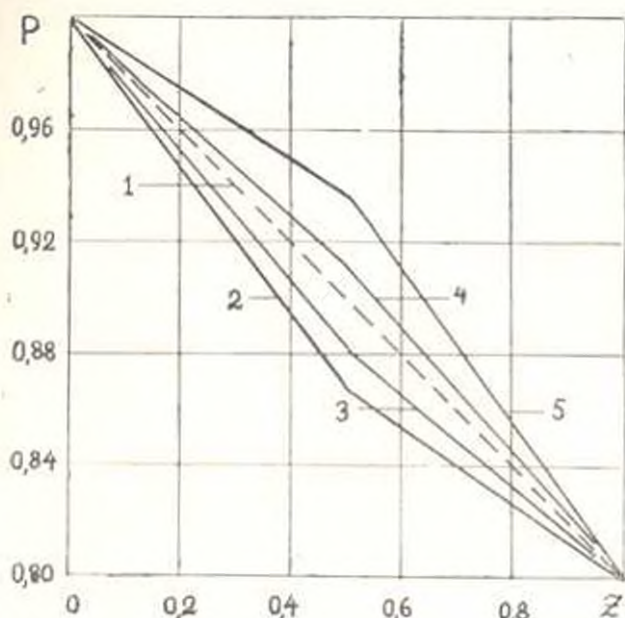


Рис. 2. Изменение безразмерного давления p в зависимости от z для $t_1 = 0,5$.

1 — $\alpha = 0$, $G_1 = 0$; 2 — $\alpha = 0,12$, $G_1 = 0$; 3 — $\alpha = 0,43$, $G_1 = 2,80$ кг/с;
4 — $\alpha = 0,43$, $G_1 = 5,71$ кг/с; 5 — $\alpha = 0,43$, $G_1 = 0,57$ кг/с.

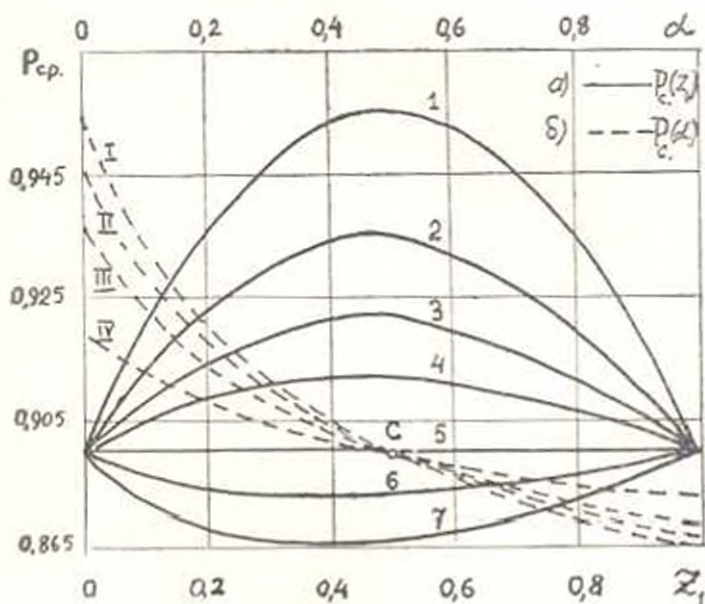


Рис. 3. Изменение среднего давления p_{cp} в зависимости от места и величины расширения для $G_1 = 5,71$ кг/с:

1 — $\alpha = 0$; 2 — $\alpha = 0,1$; 3 — $\alpha = 0,2$; 4 — $\alpha = 0,3$; 5 — $\alpha = 0,5$;
6 — $\alpha = 0,7$; 7 — $\alpha = 1$;
I — $z_1 = 0,5$; II — $z_1 = 0,3$; III — $z_1 = 0,2$; IV — $z_1 = 0,1$.

Кривые (рис. 2), построенные по формуле (2.4) при данных (5.1) для $z_1 = 0.5$ и $G_1 = 5\% G_0, 10\% G_0, 15\% G_0$, показывают ход изменения давления газа в резко расширяющемся газопроводе при сосредоточенной подкачке в зависимости от z .

Кривые (рис. 3), построенные по формуле (3.4) при $k = 0.8$ $G_1 = 10\% G_0$, показывают изменение среднего давления во всей трассе в зависимости от z_1 и z .

Из соотношений (3.6) и (3.7) видно, что с увеличением подкачки G_1 значения A возрастают, т. е. точка C (рис. 3), где $p_{cr} = p_{cr0}$, движется вправо.

Полученные в работе аналитические зависимости позволяют определить основные динамические характеристики газового потока и могут быть использованы в практике проектирования и эксплуатации магистральных телескопических газопроводов с путевой подкачкой.

Тулеский политехн. институт

Получено 18 V 1979

Ս. Ի. ՍԱՏՈՒԵՏԱՆ, Ս. Ս. Ս. Ս. ՄԱՐԿԵՍՈՎ

ԿՏՐՈՒԿ ԼԱՅՆԱՑՄԱՆ ԵՎ ՆԵՐՄԱՐԱՆ ԳԵՊԵՐՈՒՄ ԳԱՅԱՄՈՒՂՈՒՄ ՃՆՇՄԱՆ ՄԻՋԻՆ ԱՐԺԵՔԻ ԵՎ ՆՐԱ ԿՈՒՏԱԿՈՒՄ ՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Կտրուկ լայնացող երկար գազամուղներում գազի հաստատված իդոթերմիկ շարժումը ընտելագրող հախտարումների համակարգից թույլատրվող դժայնացման սահմաններում ու գազի կենտրոնացված ներմղման առկայության դեպքում ստացված է դիֆերենցիալ հախտարում, որը լուծվում է հապլասի ինտեգրալ ձևափոխությամբ:

Ստացված բանաձևերը հնարավորություն են տալիս՝

ա) կտրուկ լայնացող գազամուղի երկարությամբ հետևել գազի ճնշման փոփոխությանը ինչպես գազի կենտրոնացված ներմղման բացակայության, այնպես էլ առկայության դեպքում:

բ) որոշել ճնշման միջին արժեքը ու կուտակման ունակությունը՝ կտրված գազամուղի լայնացման տեղից, լայնացումը և ներմղումը ընտելագրող ջրացանիչներին:

ԼԻՆԵՐԱՏՈՐԱ

1. Бобронский С. А., Шербаков С. Г., Гусейн-заде М. А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором. М., «Наука», 1972.
2. Бобронский С. А., Шербаков С. Г., Гусейн-заде М. А. Транспорт и хранение нефти и газа. Тр. МИНХ и ГП, вып. 97. М., «Недра», 1971.
3. Лашин В. А., Конешенко С. Н. Обобщенные функции и задачах механики. Киев. «Наукова думка», 1974.
4. Цагарян С. Н., Маркелов С. С. К задаче о нестационарных движениях газа в магистральных газопроводах. «Известия вузов. Нефть и газ», 1972, № 10.
5. Смирнов А. С., Генкина Я. А. и др. Транспорт и хранение газа. М., Гостехиздат, 1962.

Р. А. ГАЗАРЯН, Н. С. ХУРШУДОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПА ДЕКОМПОЗИЦИИ

При оптимизации развития газотранспортных систем (ГТС) возникают большие трудности, которые объясняются наличием большого числа объектов, многоступенчатой структурой организации и функционирования, сложностью, нелинейностью и многопараметричностью процесса развития ГТС как в физическом, так и математическом смысле. Естественным путем преодоления вычислительных трудностей является декомпозиция исходной задачи на отдельные подзадачи меньшей размерности с последующим их согласованием [1]. Однако, в настоящее время, в работах, посвященных оптимизации развития крупных ГТС, реализуется ограниченное представление принципа декомпозиции [2], что ограничивает возможности соответствующих программ.

Целью настоящей статьи является разработка декомпозиционного подхода к решению задачи оптимизации развития ГТС как формально и концептуально механизма преобразования исходной математической модели.

Основные соотношения и формулы. Всякую задачу управления развитием ГТС можно свести к задаче математического программирования:

$$\begin{aligned} F(\bar{x}) &\rightarrow \min; \\ W'(\bar{x}) &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

где $F(\bar{x})$ — скалярная функция цели, аддитивная относительно независимых переменных; $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — n -мерный вектор независимых переменных $\bar{x} \in E^n$; $W'(\bar{x}) = \{W_i(\bar{x}); i = \overline{1, m}\}$ — m -мерная нелинейная вектор-функция n -мерного вектора $\bar{x}$.

Действительно, если в составе задачи содержатся ограничения типа неравенств вида:

$$a) \quad G_i(\bar{x}) \leq 0, \quad i = \overline{1, k},$$

то им соответствуют ограничения типа равенств

$$G_i(\bar{x}) - y_i^2 = 0, \quad i = \overline{1, k},$$

где $\bar{y} = \{y_j | j = \overline{1, k}\}$ — вектор дополнительных независимых переменных;

$$6) \quad a_j \leq x_j \leq b_j, \quad j = \overline{1, r},$$

то им соответствуют ограничения типа равенств:

$$(b_j - x_j) \cdot (x_j - a_j) - z_j^2 = 0, \quad j = \overline{1, r},$$

где $\bar{z} = \{z_j | j = \overline{1, r}\}$ — вектор дополнительных независимых переменных.

Определение. Разбиение пространства переменных E^n на подпространства $E^{n_1}, E^{n_2}, \dots, E^{n_N}$ назовем *прямым*, если для всяких $n_i \neq n_j$ ($i, j = \overline{1, N}$) соблюдаются соотношения:

$$E^{n_i} \cap E^{n_j} = \emptyset; \quad (2)$$

$$E^n = E^{n_1} \cup E^{n_2} \cup \dots \cup E^{n_N}.$$

В соответствии с разбиением E^n имеем разбиение множества ограничений:

$$\{W(\bar{x}) = 0\} = \bigcup_{j=1}^N \{\bar{W}_j(\bar{x}_j) = \bar{0}\} \cup \{\bar{W}^0(\bar{x}^0) = \bar{0}\},$$

где

$$\bar{W}_j = \{W(\bar{x}) | W \in \bar{W} \text{ и } \bar{x} \in E^{n_j}\}, \quad j = \overline{1, N}; \quad (3)$$

$$\bar{W}^0 = \bar{W} \setminus \bigcup_{j=1}^N \bar{W}_j, \quad \bar{x}^0 \in E^n.$$

Тогда для всякого прямого разбиения (2), используя (3) и аддитивность целевой функции относительно любого разбиения множества переменных, запишем:

$$\min_{\bar{x}} \sum_{j=1}^N F_j(\bar{x}_j) \quad (4)$$

при ограничениях

$$\bar{W}_j(\bar{x}_j) = \bar{0}, \quad j = \overline{1, N}; \quad (5)$$

$$\bar{W}^0(\bar{x}^0) = \bar{0}, \quad (6)$$

где

$$\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) \in E^n; \quad \bar{x}_j \in E^{n_j}, \quad j = \overline{1, N}.$$

Для (4) — (6) составим обобщенную задачу Лагранжа:

$$\min_{\bar{x}} \max_{\bar{p}} \left\{ \sum_{j=1}^N F_j(\bar{x}_j) + \sum_{j=1}^N \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j(\bar{x}_j) \right\} \quad (7)$$

при ограничениях (6), где $\bar{p} = (\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_N)$ — вектор множителей Лагранжа, соответствующих ограничениям (5);

$\bar{p}_j^T$ — вектор, транспонированный к $\bar{p}_j$, $j = \overline{1, N}$.

Для фиксированного $\bar{x}^0$ рассмотрим задачу:

$$\min_{\bar{x}_j} \max_{\bar{p}_j} \left\{ \sum_{j=1}^N \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\} \right\}, \quad (8)$$

где

$$\bar{x}_j = \bar{x}_j \setminus \bar{x}^0; \quad \bar{W}_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) = \bar{W}_j'(\bar{x}_j); \quad F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) = F_j(\bar{x}_j)$$

для всех $j = \overline{1, N}$.

С учетом непересечения подпространств E^{n_j} (2), преобразуем (8) введением под знак суммы операции взятия минимума и максимума

$$\sum_{j=1}^N [\max_{\bar{p}_j} \min_{\bar{x}_j} \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j'(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\}]. \quad (9)$$

Рассмотрим следующие задачи:

$$\begin{aligned} \min_{\bar{x}_j} F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) \\ \bar{W}_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

$$j = \overline{1, N}$$

Каждой из этих N задач соответствует задача о нахождении седловой точки функции Лагранжа:

$$\begin{aligned} \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} L_j(\bar{x}_j, \bar{q}_j) = \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{q}_j^T \cdot \bar{W}_j'(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\}, \\ j = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (11)$$

Просуммируем обе части равенства (11) по всем j :

$$\sum_{j=1}^N \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} L_j(\bar{x}_j, \bar{q}_j) = \sum_{j=1}^N \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{q}_j^T \cdot \bar{W}_j'(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\}. \quad (12)$$

Правая часть (12) и (9) равны, следовательно, при всяком фиксированном $\bar{x}^0$ получаем N векторов $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N$, являющихся решениями подзадач (10), т. е.:

$$\bar{x}_j = \bar{x}_j(\bar{x}^0), \quad j = \overline{1, N}. \quad (13)$$

Подставим (13) в (7). Тогда задача (7) запишется

$$\min_{x^0} \sum_{j=1}^N f_j(x^0) \quad (14)$$

при ограничении (6), где

$$f_j(x^0) = \max_{p_j} |P_j(x_j(x^0), x^0) + \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j(x_j(x^0), x^0)|.$$

Результатом решения параметрических подзадач (10) являются зависимости (13), которые используются для решения координирующей подзадачи (14). Общий процесс решения может быть организован либо итеративно — при этом расчет x_j осуществляется каждый раз для одного значения x^0 (точечный алгоритм), либо расчетом зависимости (13) на всем диапазоне изменения x^0 (эквивалентирование). Нетрудно показать, что решение исходной задачи формально не зависит ни от вида разбиения (2), ни от алгоритма реализации вычислений.

С целью реализации предлагаемого подхода разработан проблемно-ориентированный комплекс программ расчета на ЭВМ, внедренный в практику проектных расчетов [3]. Комплекс содержит ряд проблемных подпрограмм на языке ФОРТРАН-IV, организованных в личную библиотеку и объектных модулях. Управление процессом расчета осуществляется системной программой на языке АССЕМБЛЕР.

Пример. Приводится ГТС, содержащая 60 ветвей, представляющих собой трубопроводные участки и 57 узлов — точки отстваления трубопроводов, подключения потребителей и месторождений газа, расположения действующих компрессорных станций. Кроме того, заданы лишь дополнительно 32 точки, в которых рассматривалась возможность сооружения новых компрессорных станций. В качестве целевой функции задачи принят минимум приведенных затрат на развитие ГТС, с учетом эффективности использования газа и затрат на второе топливо. В число ограничений входят двухсторонние ограничения на объемы потребления газа и потоков по трубопроводам, на давления и температуру газа в узлах и т. д., а также балансовые уравнения по газу в узлах, по топливopotреблению у потребителей, условия стационарного режима газопередачи, технологические ограничения по режимам и т. д. Исходной информацией является также существующая структура и параметры ГТС, вся необходимая технико-экономическая нормативная информация.

По результатам расчетов требуется найти: оптимальную структуру и параметры ГТС, потоки газа по ветвям, распределение давлений и температур по узлам, технические решения по развитию объектов, включая выбор типа и состава оборудования, распределение выделенного ресурса газа между потребителями и т. д., а также перечень технико-экономических показателей по оптимальному варианту.

Процесс расчета включал 2 этапа. На первом были получены зависимости (13), представляющие собой зависимость изменения затрат от изменения потоков и давлений газа по группам взаимосвязанных узлов и ветвей. При этом, решение подзадач (10) осуществлялось методом динамического программирования [3]. На втором этапе решалась координирующая подзадача с целевой функцией (14) и системой ограничений (6), представляющих собой ограничения на потоки и давления газа. Реализация координирующей подзадачи осуществлялась двумя методами - модифицированным методом сопряженных градиентов и методом обобщенного градиента. При расчетах на ЭВМ ЕС-1020 при совпадении результатов расчета, затраты машинного времени, составили, соответственно, 11 и 8 мин. Полученные по результатам решения задачи (14) потоки и давления газа использовались для расчета всей искомой технико-экономической информации, на что было затрачено 32 мин.

Ереванский комп. отд.
ВНИИЭгазпрома

Поступило 2.11.1980

Ե. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ե. Ս. ԿՈՌԵՆՈՒԹՅԱՆ

ՊԱԶԱՏՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԸՍՏԱՆԱԼՈՒ ԶԱՐԿԱՑՄԱՆ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱՆ ԿԵՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԿԵՄԱԿԱՆ ԿՐԱՆՄԱՆ

Ա Ն Ք Ր Ո Ւ Մ

Դիտարկվում են բարձր զադատրանսպորտային համակարգի պարզացման օպտիմիզացիոն ալգորիթի մշակման հարցեր: Սպասարկվում է ղեկավարողի հետ մեթոդը: Միջոցառում է պրոցեսի մոդելավորումը ապելի փոքր չափողականության և նախնորհիների ազդեցության լուծման միջոցով: Բերվում են տվյալներ ԷՄ-ի վրա հաշվման պրոցեսային-կոդմոնոլիզացիոն ամբողջական ծրագիրը կազմելու վերաբերյալ, ինչպես նաև նրա կիրառումը ջրաշարի օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крумм Л. А. Методы приращенного градиента при управлении электроэнергетическими системами. Новосибирск, «Наука», 1977, 368 с.
2. Бобровский С. А. и др. Трубопроводный транспорт газа. М., «Наука», 1976, 495 с.
3. Хиршудов Н. Г. Расчет оптимальных параметров магистрального газопровода. ОФАП Мингазпрома, № 274, М. ГВН Мингазпрома, 1980, 30 с.

M. A. TARAKUCHIYI

ОБ ОДНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЗАДАЧЕ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Вопрос о загрязнении подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, поверхностными водоемкими в настоящее время является весьма актуальным. Опасность загрязнения подземных вод возникает в связи с фильтрацией в водоносные пласты сточных вод и жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных производств, хозяйственно-бытовых стоков городов и населенных пунктов.

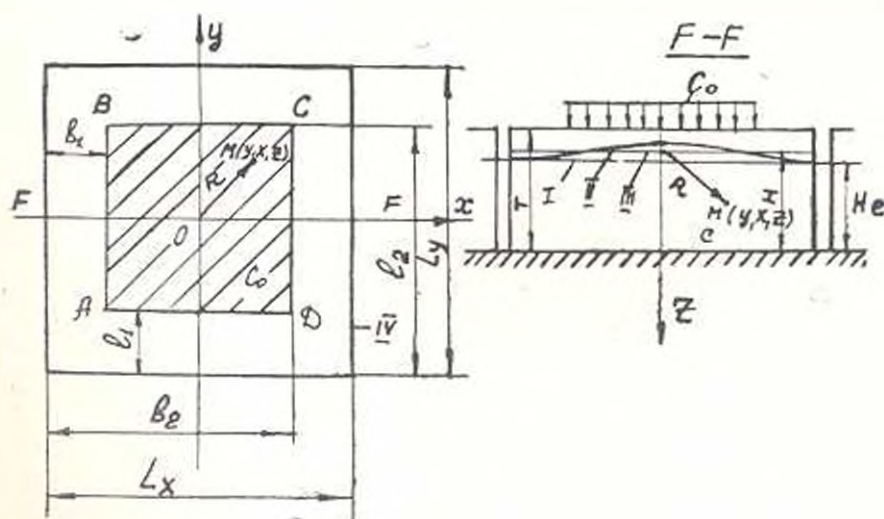


Рис. 1. I — уровень грунтовых вод до промывки, II — бурор, образовавшийся вследствие промывки, III — осредненный уровень грунтовых вод, IV — совершенный горизонтальный дренаж по контуру на расстоянии $l_1 = b_1$

В настоящей работе рассмотрена пространственная задача прогноза гидрохимического состава подземных вод при площадной схеме загрязнения (рис. 1), наблюдаемой при капитальных промывках населенных участков. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии

солей, на основании которого может быть вычислена концентрация $C(x, y, z, t)$, имеет вид [1, 2]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right] - \frac{\partial [v_x C]}{\partial x} - \frac{\partial [v_y C]}{\partial y} - \frac{\partial [v_z C]}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial t} = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1)$$

где $D = D_a + D_r = D_a + \alpha v$ — коэффициент конвективной диффузии; D_a, D_r — коэффициенты молекулярной диффузии и гидравлической дисперсии; α — параметр дисперсии; $v_x, v_y, v_z, \frac{\partial N}{\partial t}$ — скорости фильтрации и массообмена; m_0 — пористость грунта.

Для частного случая однородной толщи при условии, что в процессе фильтрации происходит равновесная сорбция загрязнений, содержащихся в подземных водах, причем, изотерма сорбции считается линейной (по Генри), уравнение (1) имеет вид:

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} - v_y \frac{\partial C}{\partial y} - v_z \frac{\partial C}{\partial z} = m \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (2)$$

где $m = m_0(1 + \Gamma)$ — активная пористость грунта; Γ — коэффициент Генри.

Уравнение (2) относится к дифференциальным уравнениям в частных производных 2-го порядка с переменными коэффициентами, аналитическое решение которых не представляется возможным. Для его приближенного решения можно применить численный метод. Рассмотрим прямоугольную пространственно-временную сетку узлов, образуемую точками пересечения семейства параллельных прямых $x = i\Delta x$, $y = j\Delta y$, $z = k\Delta z$, $t = n\Delta t$ ($i = 1, \dots, I$; $j = 1, \dots, J$; $k = 1, \dots, K$; $n = 1, \dots, N$). Здесь $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$ — принятые шаги по осям x, y, z, t , причем, $\Delta t = \Delta x = \Delta y$.

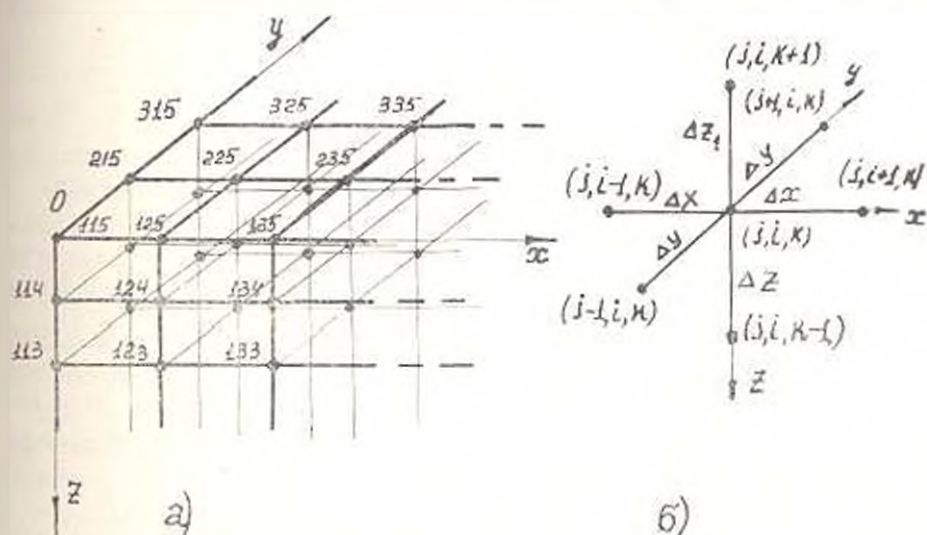


Рис. 2. а) блок-схема расчета; б) общий узел

Заменяя производные в узле (j, i, k) разностными отношениями и используя явную вычислительную схему [3], получим конечно-разностную аппроксимацию дифференциального уравнения (2). После преобразования, искомая концентрация в узле (j, i, k) (рис. 2) на $n+1$ шаге во времени выразится следующей зависимостью:

$$C_{(j,i,k)}^{n+1} = C_{(j,i,k)}^{n\Delta t} + \Phi_{1(j,i,k)} \left[\frac{C_{(j,i-1,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{1(j,i,k)}} + \frac{C_{(j,i+1,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{2(j,i,k)}} + \frac{C_{(j,i,k-1)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{3(j,i,k)}} + \frac{C_{(j,i,k+1)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{4(j,i,k)}} - \frac{C_{(j,i-1,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{5(j,i,k)}} - \frac{C_{(j,i+1,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{6(j,i,k)}} - \frac{C_{(j,i,k-1)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{7(j,i,k)}} - \frac{C_{(j,i,k+1)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{8(j,i,k)}} - \frac{C_{(j-1,i,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{9(j,i,k)}} + \frac{C_{(j+1,i,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{10(j,i,k)}} - \frac{C_{(j,i-1,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{11(j,i,k)}} + \frac{C_{(j,i+1,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{12(j,i,k)}} - \frac{C_{(j,i,k-1)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{13(j,i,k)}} + \frac{C_{(j,i,k+1)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{14(j,i,k)}} - \frac{C_{(j,i,j,k)}^{n\Delta t} - C_{(j,i,k)}^{n\Delta t}}{\Phi_{15(j,i,k)}} \right], \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \Phi_{1(j,i,k)} &= \frac{1}{\alpha v_{1(j,i,k)} \Delta z_{cp(j,i,k)}}; & \Phi_{2(j,i,k)} &= \frac{\Delta z_{1(j,i,k)}}{\alpha v_{2(j,i,k)} \Delta l^2}; \\ \Phi_{3(j,i,k)} &= \frac{1}{\alpha v_{3(j,i,k)} \Delta z_{cp(j,i,k)}}; & \Phi_{4(j,i,k)} &= \frac{\Delta z_{4(j,i,k)}}{\alpha v_{4(j,i,k)} \Delta l^2}; \\ \Phi_{5(j,i,k)} &= \frac{1}{\alpha v_{5(j,i,k)} \Delta z_{cp(j,i,k)}}; & \Phi_{6(j,i,k)} &= \frac{1}{\alpha v_{6(j,i,k)} \Delta z_{cp(j,i,k)}}; \\ \Phi_{7(j,i,k)} &= \frac{1}{\pi \Delta l \Delta z_{cp(j,i,k)}}; & \Phi_{8(j,i,k)} &= \frac{2}{v_{2(j,i,k)} \Delta l \Delta z_{cp(j,i,k)}}; \\ \Phi_{9(j,i,k)} &= \frac{2}{v_{5(j,i,k)} \Delta l \Delta z_{cp(j,i,k)}}; & \Phi_{10(j,i,k)} &= \frac{2}{v_{4(j,i,k)} \Delta l \Delta z_{cp(j,i,k)}}; \\ \Phi_{11(j,i,k)} &= \frac{2}{v_{2(j,i,k)} \Delta l^2}; & \Phi_{12(j,i,k)} &= \frac{2}{v_{4(j,i,k)} \Delta l^2}; \\ \Phi_{13(j,i,k)} &= \frac{\Delta l}{\pi \Delta l^2 \Delta z_{cp(j,i,k)}}; & \Delta z_{cp(j,i,k)} &= \frac{\Delta z_{1(j,i,k)} + \Delta z_{4(j,i,k)}}{2}; \end{aligned}$$

$v_{1(j,i,k)}, v_{2(j,i,k)}, v_{3(j,i,k)}, v_{4(j,i,k)}, v_{5(j,i,k)}, v_{6(j,i,k)}$ — средние скорости в отрезках $[(j,i,k)-(j,i-1,k)], [(j,i+1,k)-(j,i,k)], [(j,i,k-1)-(j,i,k)], [(j,i,k)-(j,i,k+1)], [(j,i,k)-(j-1,i,k)], [(j+1,i,k)-(j,i,k)]$.

Устойчивость разностного уравнения (3) требует, чтобы $C_{(j,i,k)}^{l,n+1}$ было ограниченным. Это условие обеспечивается в случае, когда коэффициенты при $C_{(j,i,k)}^{l,n}, C_{(j-1,i,k)}^{l,n}, C_{(j+1,i,k)}^{l,n}, \dots, C_{(j,i,k-1)}^{l,n}$ положительны. Шаги пространственно-временной сетки выбираются из условия устойчивости [3].

Для решения уравнения (3) необходимо прежде всего решить геофильтрационную задачу. Так как процессы загрязнения протекают длительное время, процесс фильтрации можно считать стационарным. Для условий Араратской равнины [4] скоростью испарения с поверхности грунтовых вод ($A \cdot 10^{-4}$ м/сут) по сравнению со скоростью фильтрации ($A \cdot 10^{-2} + A \cdot 10^{-3}$ м/сут) можно пренебречь.

Кроме того, для решения (3) необходимо также иметь значения коэффициента конвективной диффузии D и активной пористости m . Для практических расчетов молекулярной диффузией можно пренебречь [5], т. е. считать коэффициент диффузии $D = \alpha v$.

Определение независимых переменных произведено по π — теореме [6]. Для функции $C = C(x, y, z, t, m, v, D)$

$$\pi_1 = R^{\alpha_1} v^{\alpha_2} t / m, \quad \left| \begin{array}{l} x_1 + y_1 = 0, \quad y_1 = 1, \quad x_1 = -y_1 = -1, \\ [0] = M^{\alpha_3} \cdot M^{\alpha_4} \cdot C^{-\alpha_5} \cdot C^1, \quad \left| \begin{array}{l} -y_1 + 1 = 0, \quad \pi_1 = \frac{v \cdot t}{Rm} = S. \end{array} \right. \right. \quad (4)$$

Аналогично решаем и для других переменных. Полученные независимые переменные имеют вид:

$$\bar{C} = \frac{C_0 - C_s}{C_0 - C_s}; \quad Pe = \frac{Rv}{Dm}; \quad S = \frac{vt}{Rm}; \quad \bar{H} = \frac{z}{H}, \quad (5)$$

где $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$; $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$; H — осредненный уровень грунтовых вод после его установления.

Пример. По площади прямоугольника $ABCD$, находящегося на поверхности, поступает загрязнение с концентрацией C_0 в грунтовые воды с начальной концентрацией C_s ($C_0/C_s > 1$). Участок окружен совершенным горизонтальным дренажем, является прямоугольником (в частности, квадратом) $b_2 = l_2$, $L_1 = l_1$, а грунт однородный. Для получения обобщенных значений при решении нами взяты три параметра α ($\alpha_1 = 0,1$ м, $\alpha_2 = 1$ м, $\alpha_3 = 2,5$ м) и m ($m_1 = 0,9$, $m_2 = 0,45$, $m_3 = 0,7$). Приводится прогноз гидрохимического состава грунтовых вод под влиянием инфильтрации загрязняемых вод при следующих условиях: T, H_s , где T — мощность покровной толщи грунта; H_s — начальный уровень грунтовых вод.

Граничные условия:

$\frac{\partial C}{\partial n_1} = 0$ — граничное условие II-го рода для всех точек граничных плоскостей, за исключением точек, принадлежащих поливному участку ($k=5, j=i=1-6$); n_1 — нормаль к граничной плоскости; $C = C_0$ — граничное условие I-го рода для точек поливного участка ($k=5, j=i=1-6$).

Начальные условия:

$$t = t_0 = 0, \quad C = C_e$$

для точек ($k=1-4, j=i=1-9$), ($k=5, j=i=7-9$).

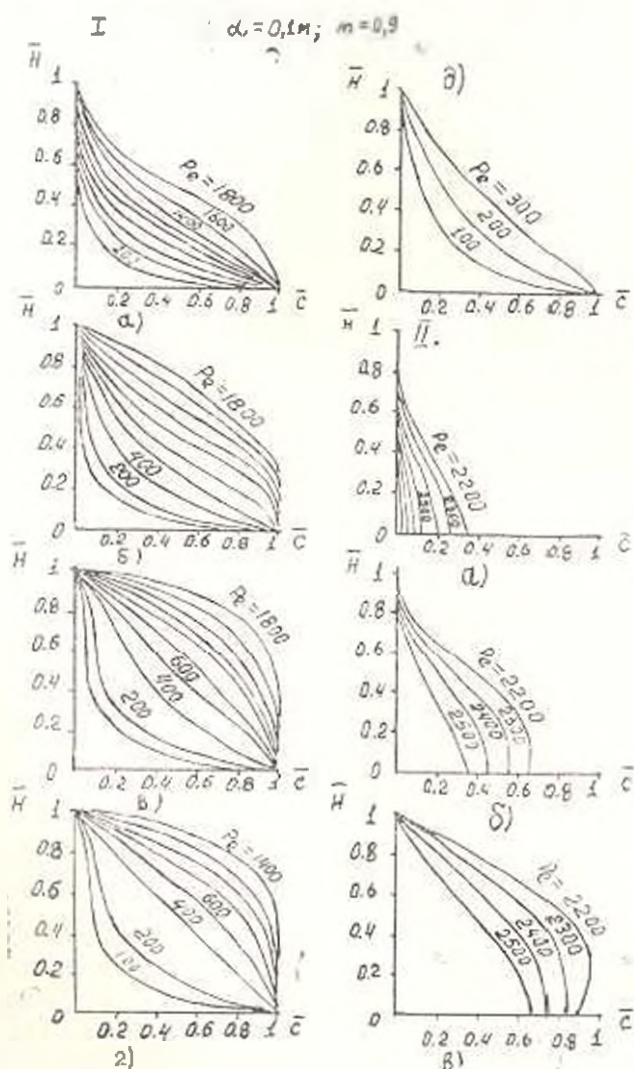


Рис. 3. Графики зависимости $C = C(H, S, Pe)$. 1, II — для подконтурных и законтурных точек, а) $S = 0,1$. б) $S = 0,2$; в) $S = 0,3$; г) $S = 0,4$; а) $S = 0,5$.

Для решения стационарной геофильтрационной задачи можно применить метод ЭГДА и свести прямоугольную область к осесимметричной, т. е. линия одинаковых скоростей на $\bar{H} = \text{const}$ будет иметь вид окружности. На основе решенной геофильтрационной задачи, имея поле скоростей, можем приступить к решению задачи массопереноса.

Результаты решения приведены в графическом виде для случая $\alpha_1 = 0,1$ м, $m_1 = 0,9$ (рис. 3). Аналогично получены результаты и для $\alpha_1 = 0,1$ м, $\alpha_2 = 1$ м, $\alpha_3 = 2,5$ м, $m_1 = 0,9$, $m_2 = 0,45$, $m_3 = 0,7$.

Для определения концентрации $\bar{C}$ на данной глубине $\bar{H}$ задаемся параметром Pe . Для данного момента времени t , имея значение S , можем определить концентрацию $\bar{C}$ в любой точке для $\bar{H} = \text{const}$.

Имея значение $Pe = \frac{\pi R}{Dm} = \frac{R}{\pi m}$, можно рассчитать $R = \pi m / Pe$, т. е.

радиус той окружности на глубине $\bar{H}$, из которой наблюдается данная концентрация $\bar{C}$. Точки, находящиеся в пространстве непосредственно под контуром участка (подконтурные точки), и точки, находящиеся за контуром (эпиконтурные точки), изменяются по различным закономерностям.

Эти кривые, полученные для данной схемы при данном m_1 , можно использовать и для других значений m . Для этого достаточно рассчитать значения $S_2 = S_1 \frac{m_1}{m}$ при $Pe_2 = Pe_1$ и смотреть на соот-

ветствующем графике, или же, что то же самое, $Pe_2 = Pe_1 \frac{m_1}{m}$ при $S_2 = S_1$.

Выводы. По полученным графикам можно прогнозировать гидрохимический состав грунтовых вод в пространстве и во времени при площадной схеме загрязнения однородного грунта, окаймленного на расстоянии совершенным горизонтальным дренажем. Полученные зависимости могут быть использованы для расчетов и при других параметрах активной пористости посредством пересчета по указанным выше зависимостям.

ЕрIIIH HИ К. Маркел

Поступило 18 III 1981

Մ. Ա. ՏԱՐԱԿՅԱՆ

ՆԱԽԻՐԱԳՈՒԼԱՅԻՆԱԸ ՏԱՐԱԿՅԱՆԸ ՈՐ ԽՆԴՐԻ ՄԱՍԻՆ
ՍՏԱՌՈՒԹՅԱՆ ԶՐԵՐԻ ԱՆՏՈՏՈՒՄԱՆ ԳԵՊԵՐՈՒՄ

Ա. Ա Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ուսուցված գրողիկներով կարելի է տալ գրունտային ջրերի հիդրոգիմիական կազմի փոփոխությունը ժամանակի և տարածության մեջ համառոտ

դրույնտի մակերևալին ադսորբումն հետազոտելու, երբ միջավայրը շրջապատված է հորիզոնական դրենաժով: Ստացված կախվածությունները կարող են գործածվել նաև ուրիշ տիպիվ ծակոտկենությունների համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веригин Н. П. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелiorации и гидротехники «Известия АН СССР. ОТИ», 1953, № 10.
2. Левин В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М., Физматгиз, 1959, 699 с.
3. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М., «Мир», 1972, 418 с.
4. Под ред. Мкртчяна С. С. Геология Армянской ССР. Том VIII. Гидрогеология. Ереван, Изд. АН АрмССР, 1974, 390 с.
5. Барон В. А., Планин Ю. Г. Прогноз многолетнего режима минерализации поровых вод при орошении. М., «Недра», 1974, 83 с.
6. Амибузев П. М., Минкевич Л. М. Основы теории подобия и моделирования. Новосибирск, Сиб. отд. АН СССР. Ин-т горн. дела, 1965, 83 с.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Լ. Ա. ԳՐԻԳՐՅԱՆ, Դ. Ա. ՍԼԱՎՅԱՆ

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

Вопросам старения и оценки срока службы цилиндрических магнитных пленок (ЦМП) посвящен ряд работ [1—3 и др.]. Однако до настоящего времени не удалось полностью вскрыть механизм старения и получить его аналитические зависимости. Такое положение вызвано сложностью физико-химических процессов старения ЦМП и его зависимостью от целого комплекса технологических факторов.

В настоящей работе предлагается методика получения математической модели процесса старения на основе экспериментальных исследований носителей информации ЦМП-Н-О, 1А. Эта ЦМП представляет собой трехслойную ферромагнитную пленку ($NiFe$, $NiCo$, $NiFe$) толщиной порядка 0,8 мкм с медным подслоем, который осажден на проволоку-подложку из сплава медь-серебро диаметром 0,1 мм. ЦМП покрыта защитным лаком.

Учитывая большой срок службы ЦМП (более 10 лет), возникает необходимость проведения ускоренных испытаний для определения характера старения [1—3].

Для проведения этих испытаний необходимо:

- определить критерий, по которому оценивается срок службы;
- выбрать параметры, увеличение которых приводит к ускорению процесса старения.

В одних работах в качестве критерия оценки старения принята величина скаса при легком намагничивании, а в других — величина выходного сигнала. Чаще в качестве критерия оценки старения принята величина, характеризующая изменение асимметрии пороговых токов записи «1» и «0» (рис. 1) [3]:

$$\Delta x = x_1 - x_0, \quad (1)$$

где x_0 , x_1 — значение x в начале и в конце процесса старения:

$$x = \frac{I_{p1} \cdot 1^* - I_{p1} \cdot 0^*}{I_{p2} \cdot 1^* + I_{p2} \cdot 0^*} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Величина Δz косвенным образом определяет величину схода оси легкого намагничивания.

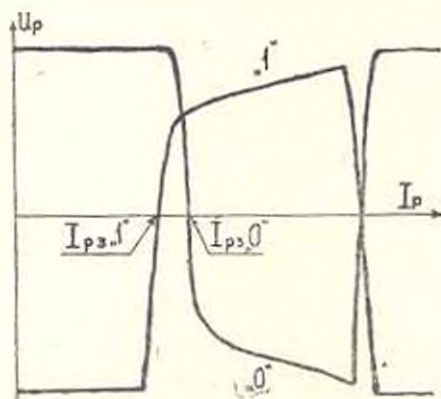


Рис. 1.

Как показали экспериментальные исследования [1—3], интенсивность процесса старения зависит от температуры окружающей среды θ приложенного магнитного поля по трудной оси ЦМП— H_1 и ее скважности — K_H . Таким образом:

$$\Delta z = f(t, \theta, H_1, K_H). \quad (3)$$

Путем увеличения θ и K_H по отношению к их реальным значениям можно ускорить процесс старения и по полученным экспериментальным данным определить математическую модель зависимости (3).

Реальное значение $\theta = \theta_p$ определяется условием эксплуатации запоминающего устройства (ЗУ) и обычно в ТУ на ЦМП задаются пределы ее изменения $\theta_{\min} - \theta_{\max}$, а нами с некоторым запасом принимается $\theta_p = \theta_{\max}$.

Реальное значение K_H можно определить, пользуясь следующим выражением:

$$K_H = \frac{\tau_q}{T_u} \cdot K_q \cdot K_c, \quad (4)$$

где τ_q — длительность импульса числового тока; T_u — цикл обращения к ЗУ; K_q — коэффициент обращения по одному адресу.

При постоянном обращении по одному адресу — $K_q = 1$, а при работе ЗУ в режиме пересчета адресов — $K_q = \frac{1}{N}$, где N — количество адресов ЗУ, $K_c = \frac{t_r}{24}$ — коэффициент сменности, t_r — среднее время работы ЗУ за сутки.

Реальное значение H_L трудно определить, учитывая неоднородность магнитного поля числовой обмотки [4], а с другой стороны зависимость

$$\Delta\alpha = f(H_L) \quad (5)$$

при фиксированных остальных параметрах имеет экстремальный характер. Для создания наиболее тяжелых условий при испытаниях на старение целесообразно принять $H_L = H_{L0}$, при котором $\Delta\alpha = \Delta\alpha_{\max}$ (рис. 2).

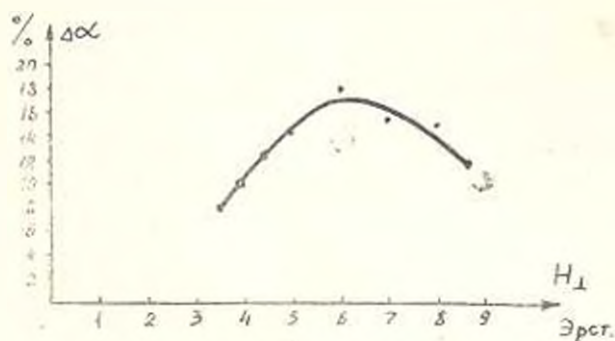


рис. 2

Для ЦМ11-11-0,1А при условии $K_H = 0,1$ и $H_L = 6$ э сняты характеристики

$$\Delta\alpha = f(t, \theta) \quad (6)$$

при различных фиксированных значениях θ .

На рис. 3 приведены соответствующие кривые, построенные по среднестатистическим данным. Как видно из этих кривых, зависимости

$$\Delta\alpha = f(\log t) \quad (7)$$

имеют линейный характер и все они при различных значениях θ примерно сходятся в одной точке.

Такое предположение позволяет функцию (7) аппроксимировать зависимостью

$$\Delta\alpha = K(\log t - B) + A, \quad (8)$$

где

$$K = f(\theta); \quad (9)$$

A, B — постоянные, которые определяются по экспериментальным кривым (7).

По этим же кривым можно определить значение K при различных θ и построить зависимость (9), приведенную на рис. 3, которую можно аппроксимировать следующей функцией:

$$K = 10^{\frac{C-D}{D}}, \quad (10)$$

где C и D — постоянные.

Совместно решая (10) и (8), получим аналитическое выражение зависимости (6) в следующей форме

$$\Delta\alpha = 10^{\frac{C-B}{D}} (\log t - B) + A, \quad (11)$$

откуда

$$t = 10^{\left[(\Delta\alpha - A) 10^{\frac{D}{C-B}} + B \right]},$$

$$\theta = D [\log (\Delta\alpha - A) - \log (\log t + B)] + C.$$

На основании характеристик, снятых для ЦМП II-0,1 (рис. 3), определены постоянные уравнения (11): $A = 0.71$; $B = 0.163$; $C = 69.4$; $D = 101.4$

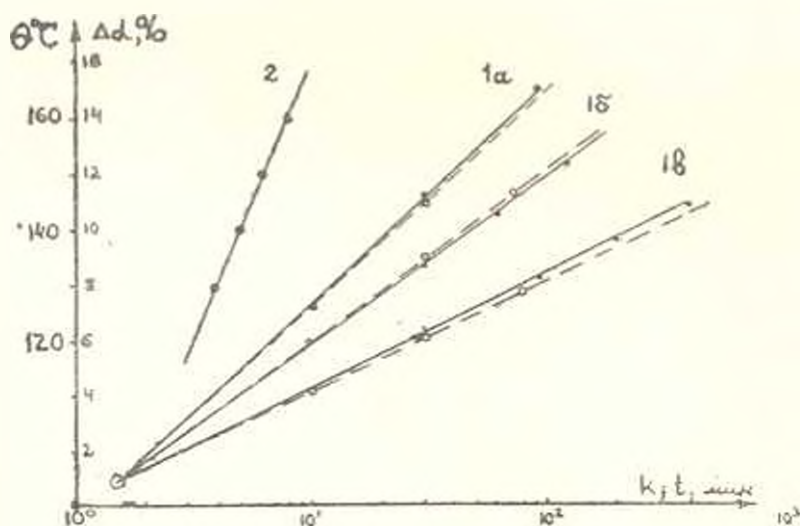


Рис. 3.

Для проверки адекватности полученной математической модели процесса старения на рис. 3 приведены также расчетные кривые, полученные с помощью выражений (10) и (11). Сравнение расчетных и экспериментальных кривых показывает их хорошее совпадение.

В результате проведенной работы получено аналитическое выражение, с помощью которого при заданной температуре окружающей среды и допустимого скова оси легкого намагничивания можно определить срок службы ЦМП.

ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՄԱԳՆԵՏՈՒԱԿԱՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՄԵՐԱՑՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ
ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱՐՆԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ո փ ո ո մ

Գլանային մագնիսական թաղանթների (ԳՄԹ) հուսալիության գնահատման հիմնական ցուցանիշներից մեկը հանդիսանում է ծերացման պրոցեսի ինտենսիվությունը:

Աշխատանքում րևբմած է ԳՄԹ ծերացման պրոցեսի փորձնական ուսումնասիրության արդյունքները և առաջարկվում է այդ պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելը: Մոդելի օգնությամբ կարելի է գնահատել ԳՄԹ ծառայության ժամկետը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Danylichuk L., Gianola U. F., Sibilia I. T. Bell Syst. Techn. Journal, 1968, 47, № 8, pp. 1539 - 1559.
2. McCallister I. P., Strobl S. I. IEEE Trans. Magn. vol. Mag.—5, pp. 495—500, Sep. 1969.
3. Luboray F. E., Drummond B. I. Selected Characteristics of Plated Wire from Various Sources. Gen. Elect. Tech. Inf. Ser., June 1973, № 7-CR1-190.
4. Григорян Л. А. Запоминающие устройства на цилиндрических магнитных пленках М., «Энергия», 1975.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Э. Н. МАНУКЯН, А. Р. МАНВЕЛЯН

АРХИТЕКТУРА И ВОЗМОЖНОСТИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ
БАЗЫ ДАННЫХ, ПОДДЕРЖИВАЕМОЙ В ДИАЛогоВОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «АНИ»

Первейшей задачей при разработке баз данных (БД) является проблема генерации логической структуры данных (ЛСД) БД. При этом информация, описывающая конкретную предметную область (ПО), терпит следующие четыре этапа преобразований [1].

1. На основе тщательного анализа ПО формируется ее описание.
2. Формируется полученное описание и составляется информационно-логическая структура (ИЛС), описывающая систему реальных объектов ПО [2].
3. Составляется ЛСД конкретной БД.
4. Определяется структура размещения данных на физических носителях ЭВМ.

Не располагая специальными средствами для описания реальных объектов, разработчики БД вынуждены пользоваться языками описания конкретных систем. В результате чего разработанная ЛСД из-за ограничений, присутствующих в конкретных системах, и влияния субъективных факторов, отражает лишь некоторое искаженное подмножество данных и информационных связей ПО. Это приводит к трудностям при общении пользователей с системой, неэффективности использования памяти и увеличению отклика системы.

Решением данной проблемы, на наш взгляд, является разработка архитектуры БД и языка описания ЛСД, позволяющих максимально приблизить ЛСД конкретной БД к ИЛС ПО, тем самым упростить реализацию этапа 3.

Эти соображения и ряд других легли в основу конструирования системы управления базами данных (СУБД) диалоговой информационной системы «АНИ», которая разрабатывается в ЕРМ. Ниже приводится описание организационных единиц и архитектура БД обслуживаемых СУБД «АНИ». В БД выделяются три функционально различных раздела: раздел данных (РД), знаний (РЗ) и словаря (РС).

Раздел словаря является хранилищем идентификаторов организационных единиц логической структуры (ЛС) РД, РЗ и их синонимов.

РС используется системой для обеспечения интерфейса между пользователями и БД, в которой идентификаторы представлены в закодированном виде.

Логическая структура раздела данных имеет вид ориентированного мультиграфа. Организационными единицами, с помощью которых создается граф, является «объект исследования» (ОИ), соответствующий вершинам графа, «отношение», соответствующее дугам графа и показывающее кем или чем является один «объект исследования» для другого, и «атрибут», являющийся описанием некоторого свойства ОИ и набором элементов.

Вершинами графа ЛСД могут быть представлены реальные объекты, факты, а дугами — реально существующие отношения между ними. Системой не ставятся ограничений на структуру мультиграфа, на количество и типы «атрибутов» и их элементов, а также обеспечивается возможность хранения описаний структур данных вместе с их значениями, что позволяет создавать и вести недетерминированные базы данных [3]. Система обладает средствами идентификации организационных единиц по датам их «рождения» и «смерти», что обеспечивает возможность имитировать ПО как «в пространстве», так и «во времени».

При ведении РД системой различаются отношения трех типов: простые, основные и определяющие. Отношение называется определяющим если им обуславливается существование ОИ в БД. Основные отношения обратно направлены определяющим. По определяющим (основным) отношениям ЛСД представляется набором несвязанных древовидных графов. Добавление ОИ в базу происходит по запросам пользователей путем создания определяющего отношения. При удалении ОИ удаляются все ОИ, связанные с ними по определяющим отношениям. Простым отношением могут быть связаны любые два ОИ. Таким образом, введение трех типов отношений позволяет контролировать создание и удаление ОИ в РД. Это становится особенно необходимым в БД со сложной логической структурой.

Раздел знаний служит для хранения описаний основных понятий ПО и отношений между ними. Логическая структура РЗ представляется в виде ориентированного псевдографа. Организационными единицами РЗ являются «понятия», «отношения» между «понятиями» и «атрибуты понятий».

Поскольку структура знаний отражает элементы объективной действительности и не зависит от конкретной ПО, необходимо поддерживать определенные закономерности в логической структуре РЗ, поэтому ведение РЗ происходит под жестким контролем системы.

В РЗ различаются две категории «понятий», описывающие:

а) свойства ОИ РЗ и идентифицирующиеся именами соответствующих атрибутов;

б) набор ОИ, обладающих свойствами, которые удовлетворяют определенным условиям. Члены такого набора называются экземплярами.

первой категории отношения «объекты с частным проявлением свойства» (тип G) и «возможное свойство» (тип F).

Указанные отношения не зависят от ПО и отражают объективно существующие отношения между понятиями реального мира. Для представления взаимоотношений между реальными объектами и системой разрешается соответствующие им «понятия» связывать отношениями, имена которых могут совпадать с любым существующим в РЗ «понятием» второй категории. Например, на рис. отношение 7. Основной объем знаний в предметной области хранится в виде атрибутов «понятий». При описании РЗ атрибуты и отношения между «понятиями» могут быть объявлены как «обязательные» и «возможные». Создание РЗ производится путем постепенного наращивания ЛС. При манипуляции «понятиями» второй категории различаются полуопределенные и конечно-определенные «понятия». В отличие от экземпляров конечно-определенных «понятий» экземплярам полуопределенных «понятий» разрешается добавлять атрибуты и связи, не противоречащие содержащимся в РЗ знаниям. При этом производится соответствующая коррекция РЗ.

Для организации связей между разделами БД важную роль играет раздел словаря. При ведении БД автоматически создаются и поддерживаются связи между основными словами и соответствующими им «понятиями» в ОП. Они широко используются системой для обеспечения доступа к требуемым данным. Системой автоматически может поддерживаться связь между некоторыми понятиями и их экземплярами (тип H). Например, на рис. связи 14 и 21.

Система с предлагаемой архитектурой не ставит ограничений на сложность ЛС БД, а предложенные организационные единицы позволяют адекватно описать информационную структуру системы реальных объектов и понятий ПО. Четко выделенный РЗ позволяет:

- а) уменьшить объем РД за счет выделенного хранения у «понятий» общих для их экземпляров данных;
- б) обеспечить контроль и дополнение запросов пользователей.

Возможность автоматической организации системой отношений типа H позволяет создавать универсальные формы хранения данных в виде триад [4] и использовать некоторые элементы реляционного исчисления при выделении информации на РД. При наличии отношений типа H у всех «понятий» РЗ, ЛС БД можно рассматривать как инвертированную реляционную структуру [5]. При полном отсутствии таких отношений ЛС БД представляется сетевой. В общем случае системой обеспечивается несколько различных путей к конкретному ОП через РД и РЗ, что позволяет в зависимости от конкретной ситуации выбрать стратегию поиска, обеспечивающую максимальную эффективность ассоциативного доступа. Таким образом, путем автоматического выбора системой подмножества «понятий» и формирования у них связей типа H достигается и поддерживается оптимальность ЛСД БД. Такая архитектура БД позволяет не только решать вышеописанные проблемы, но и создает

Է. Ն. ՄԱՆՈՒՅԱՆ, Ա. Ռ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ

**«ԱՆՆԻ» ԳԻԱԼՈԳԻԱՅԻՆ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ԶԱՄԱՆԱԲԵՐԻՄ ԱՊԱՀՈՎՈՂ
ՉԴԵՏԵՐՄԻՆԱՅՎԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԲԱԶԱՅԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾԲԸ
ԵՎ ՀԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Մ

Դիտարկվում են խնդիրներ, որոնք առաջանում են տվյալների բազաների տրամաբանական կառուցվածքների նախադժման էտապում: Լեռնաշարկվում է տվյալների բազայի այնպիսի կառուցվածք, որի ապահովման դեպքում տվյալների բազայի դեկլարացիայի համակարգի կողմից հնարավորություն է ընձեռնվում մոդելավորել արտաքին առարկայական աշխարհը տվյալների բազայում, ստանալ ճկուն և ավտոմատ կարգավորվող տրամաբանական կառուցվածք: Նշված հատկությունները ապահովվում են տվյալների բազայից զիտելիքների և տվյալների ենթաբազանների առանձնացման և վերջիններիս միջև հատուկ ինֆորմացիայի կապերի ստեղծման շնորհիվ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Михиловский С. А. Описание внешнего пространства данных автоматизированных информационных систем. «Управляющие системы и машины», 1979, № 6, с. 22—23.
2. Ереми-Еремянко А. А., Михиловский С. А. Уточнение некоторых процедур семантического анализа описания исходных данных при проектировании автоматизированных информационно-справочных систем. (Сб. «Вопросы проектирования базов данных», Киев, «Наукова думка», 1977, с. 43—55).
3. Михиловский В. С. и др. Интегрированная система организации данных для решения задач анализа транспортных сетей. Киев, Изд. ИК АН УССР, 1977, 30 с.
4. Маруля Лж. Организация баз данных и вычислительных систем. Москва, «Мир», 1978.
5. Tanaka R., Le Viet C. et al. A file organisation suitable for relational database operations, lect. Notes Comput. Sci., 1979, 75, p. 193—227.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. С. ДАРВИНЯН, С. О. ХАЧАТРЯН

К РАСЧЕТУ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Рассматриваются колебания системы с конечным числом степеней свободы в виде невесомого стержня с сосредоточенными массами по высоте и заделанным нижним концом с учетом распространения в ней поперечной сейсмической волны.

Следуя Ш. Г. Напетваридзе, волновое уравнение колебания здания запишем следующим образом [1]:

$$\frac{\partial^2 U^*(x, t)}{\partial t^2} - V_s^2 \frac{\partial^2 U^*(x, t)}{\partial x^2} = 0.$$

Даламберово решение которого имеет вид:

$$U^*(x, t) = \varphi^*\left(t - \frac{x}{V_s}\right) + \psi^*\left(t + \frac{x}{V_s}\right). \quad (1)$$

Известно, что выражения для определения коэффициентов преломления и отражения при условии $\gamma_{k+1}^* < 1$ имеют вид:

$$a_{k, k+1} = \frac{2}{1 + \gamma_{k+1}^*}; \quad a_{k+1, k} = \frac{2\gamma_{k+1}^*}{1 + \gamma_{k+1}^*}, \quad (2)$$

где

$$\gamma_{k+1, k}^* = \frac{\gamma_{k+1}^*}{\gamma_k^*} \cdot \frac{V_{k+1}}{V_k}; \quad (3)$$

γ_{k-1}^* и γ_k^* — объемный вес материала k -го и $k+1$ -го этажа здания.

Во время локального повреждения, энергия разрушения конструктивного элемента одного этажа передается на другой. Тогда конструкция этажа, в пределах которого произошло разрушение, разгружается и дальнейшая работа конструкции с трещинами приводит к повышению поглощения энергии.

Согласно [1] для конкретного этажа здания скорость распространения поперечной волны запишется так:

$$V_{k+1}^* = 2\pi \frac{h_{k+1}}{T_{k+1}^*}.$$

Пусть жесткость r_{k+1} получает отрицательное приращение, тогда

$$V_{k+1}^* - \Delta V_{k+1}^* = h_{k+1} [\omega_{k+1}^{*0} - (\Delta \omega_{k+1}^*)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где $\Delta \omega_{k+1}^* = \sqrt{\frac{\Delta r_{k+1}}{M_{k+1}}}$ — приращение квадрата относительно частоты для $k+1$ -го этажа; T_{k+1}^* , ω_{k+1}^* — период и частота собственных колебаний этажа до повреждения конструкции.

Разложив в ряд квадратный корень и отбросив малые члены высшего порядка, после некоторых преобразований получим:

$$V_{k+1}^{**} = V_{k+1}^* - \Delta V_{k+1}^* = V_{k+1}^* \left(1 - \frac{\Delta r_{k+1}}{r_{k+1}}\right)^{\frac{1}{2}} \approx V_{k+1}^* \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta r_{k+1}}{r_{k+1}}\right). \quad (5)$$

Тогда выражение (3) примет вид:

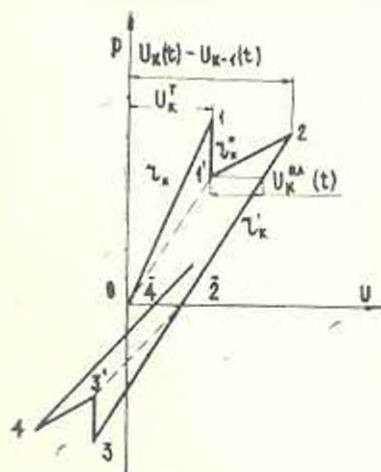
$$\gamma_{k+1}^{**} = \frac{\gamma_{k+1}^*}{\gamma_k^*} \cdot \frac{V_{k+1}^*}{V_k^*} \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta r_{k+1}}{r_{k+1}}\right)$$

или

$$\gamma_{k+1}^{**} = \frac{\gamma_{k+1}^*}{\gamma_k^*} \cdot \frac{V_{k+1}^*}{V_k^*} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta \omega_{k+1}^*}{\omega_{k+1}^*}\right)^2\right]. \quad (6)$$

Таким образом, для учета локального повреждения в пределах $k+1$ -го этажа необходимо принять вместо $\gamma_{k+1,k}^*$ величину $\gamma_{k+1,k}^{**}$ по формуле (6).

Отметим, что в момент локального разрушения сосредоточенные массы системы получают дополнительную скорость и ускорение, которые легко определить [2].



Расчетная диаграмма "Восстанавливающая сила-перемещение".

В упругой стадии работы (рис.) уравнение движения K -го этажа запишется следующим образом:

$$M_k \ddot{U}_k(t) + r_k [U_k(t) - U_{k-1}(t)] - r_{k+1} [U_{k+1}(t) - U_k(t)] = 0. \quad (7)$$

После мгновенного уменьшения жесткости уравнение (7) примет вид:

$$M_k \ddot{U}_k(t) + (r_k - \Delta r_k)[U_k(t) - U_{k-1}(t)] - r_{k+1}[U_{k+1}(t) - U_k(t)] = 0. \quad (8)$$

На основании (7) и (8) можем получить значение приращения ускорения:

$$\Delta \ddot{U}_k(t) = \ddot{U}_k(t) - \ddot{U}_k(t) = (\Delta \omega_k^*)^2 [U_k(t) - U_{k-1}(t)], \quad (9)$$

где $\Delta \ddot{U}_k(t)$ — отрицательное приращение ускорения

$\Delta \ddot{U}_k(t)$ вполне определяется правой частью (9) так, как и $U_k(t)$ и $U_{k-1}(t)$ известны из решения волнового уравнения:

$$U_k(t) = \left\{ \prod_{j=0}^{k-1} (a_{j,j+1}) + 2 \left| \prod_{j=1}^{k-1} (a_{j-1,j}) \right| \left| \prod_{j=0}^{k+1} (a_{j,j+1}) \right| \right\} \times \\ \times \frac{\omega_0 U_0^*(z)}{1 + r_1/r_0} \sin \frac{\omega_0 z}{c},$$

где $z = t - \sum \frac{h_j}{V_j}$ — время прохождения волны по высоте здания;

V_j — скорость распространения волны по j -ом этаже; $U_0^*(z)$ — ускорение колебания почвы; r_0, r_1 — жесткости грунтового слоя и первого этажа здания.

Так, например, при гармонической волне на основании (1) получим:

$$U(t, x) = -A\omega^2 \sin \omega \left(t - \frac{x}{V_s} \right) + B\omega^2 \cos \left(t - \frac{x}{V_s} \right).$$

Нетрудно таким образом определить полное ускорение и сейсмическую силу на любом уровне:

$$\ddot{U}_i^*(t) = \ddot{U}_i(t) + \Delta \ddot{U}_i(t); \quad S_i^*(t) = S_i(t) + \Delta S_i(t).$$

Скорость распространения волны после локального повреждения определяется следующим образом:

$$V_{s,k}^* = \omega_k h_k.$$

В качестве примера рассмотрим колебания 9-этажного рамно-каркасного здания со стеновыми заполнениями из легкого бетона. Расчет произведен по СНиП, по методу стоячих волн (скорость распространения сейсмических волн в здании равна бесконечности) и при конечной скорости распространения сейсмических волн с учетом образования повреждений. В качестве внешнего воздействия приняты акселеро-

граммы разных землетрясений. Результаты вычислений для одного землетрясения, полученные на ЭВМ, приведены в табл.

Таблица

Значения сейсмических и поперечных сил в тс

Этаж	По СНиП		По методу стоячих волн		С учетом конечной скорости распространения сейсмических волн			
					без учета повреждений		с учетом повреждений	
	S_k	Q_k	S_k	Q_k	S_k	Q_k	S_k	Q_k
1	8	130	39	303	98	10	93	37
2	16	122	38	291	215	83	138	68
3	21	106	46	282	234	135	171	88
4	22	85	52	266	178	100	172	107
5	20	63	48	242	171	103	187	116
6	16	43	46	210	161	108	183	107
7	11	28	51	169	161	53	140	80
8	9	17	57	119	256	157	154	107
9	8	8	62	62	150	150	70	70

Анализ результатов вычислений показывают, что величины сейсмических нагрузок зависят от конструкции здания, грунтовых условий и сейсмического воздействия. Поэтому расчет зданий необходимо производить на воздействие возможных для данного участка акселерограмм и из них выбрать неблагоприятный для данной конструкции. В зависимости от этих факторов нагрузки могут увеличиваться или уменьшаться.

Из табл. видно, что поперечные силы при учете конечной скорости распространения сейсмических волн на отдельных уровнях резко уменьшаются по сравнению с их величинами при расчете по обычным методам. Учет конечной скорости распространения волны приводит к тому, что время действия импульса ускорения в одном направлении увеличивается, из-за чего сейсмические силы увеличиваются. С другой стороны из-за разности фаз проходящих и отраженных волн в итоге для рассматриваемого случая поперечные силы уменьшаются. Во время сейсмического воздействия при учете повреждений период колебаний рассматриваемого здания изменился от 0,89 с до 2,37 с, что является результатом изменения жесткости, которое приводит, в свою очередь, к уменьшению сейсмических нагрузок.

ИГИС АН АрмССР

Поступило 15. X. 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. *Напетваридзе Ш. Г.* Некоторые задачи инженерной сейсмологии. Тбилиси. «Мецниერба», 1965.
2. *Хачатрян С. О.* Влияние локального повреждения здания на величину сейсмической нагрузки. «Реферативная информация», сер. XIV, вып. 9, ЦНИИС, 1977.

А. П. ПАНКЕВИЧ, Л. А. ГАСПАРЯН

РАЗРУШЕНИЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ АРГОНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ С АКТИВИРУЮЩИМИ ФЛЮСАМИ

Аргоно-дуговая сварка с применением порошковых активизирующих флюсов фторидно-окисной системы и защитной среды ($Ar + SF_6$) широко внедряется в народном хозяйстве, а также применяется в специальных отраслях техники, например, при сварке криогенного оборудования, оболочек ракет, емкостей для хранения ракетного топлива и т. п. [1].

Разрушение рабочего участка электрода $W + 2\% Y_2O_3$ при сварке листовой стали 12X18H10T толщиной 6 мм с применением порошковых активизирующих флюсов фторидно-окисной системы по ОСТ 92-1135-73 показано на рис. 16. Условия сварки приведены в табл. Поверхность электрода покрывается на расстоянии 2—3 мм от вершины конуса кольцеобразным налетом светлого цвета. Рабочий конец изменяет свою форму и затем оплавляється.

Спектральный и химический анализ разрушенного рабочего участка вольфрамового электрода показал, что он содержит много железа (0,3—0,5% вес.), хрома (0,8—1,5% вес.) и никеля (0,1—0,2% вес.) — элементов расплавленной ванны (анода).

Механизм разрушения вольфрамовых электродов при аргонно-дуговой сварке с применением порошковых активизирующих флюсов фторидно-окисной системы обусловлен, по-видимому, общей интенсификацией процесса сварки. Флюсы, контрагируя (сжимая) дугу, повышают тепловую нагрузку на электрод при неизменной общей потребляемой мощности дуги. Повышается и удельное вложение тепла ($ккал/см^2$) на анод — свариваемый металл, что в свою очередь вызывает интенсивное испарение элементов сварочной ванны и их перенос на поверхность электрода. Загрязнение электрода парами металлов расплавленной ванны вызывает его отравление: уменьшение эмиссионной и, следовательно, проплавляющей способности.

Вольфрамовые электроды, выпускаемые в настоящее время промышленностью, разрушаются при использовании защитной среды $Ar + SF_6$ почти мгновенно: через 3—5 сек после зажигания дуги рабочий конец изменяет форму и оплавляється. Характер разрушения элек-

электрода $W + 2\% Y_2O_3$ при аргоно-дуговой сварке листовой стали 12Х18Н10Т толщиной 6 мм в защитной среде $Ar + 3\% SF_6$ показан на рис. 1в. Из рисунка видно, что разрушается не только рабочий конец электрода, но и участок «А», прилегающий к нему: на участке «А» цилиндрическая форма электрода становится конусообразной с уменьшением диаметра в направлении к рабочему концу.

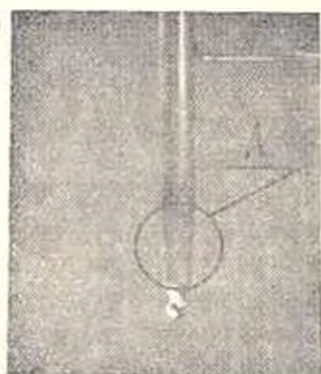


Рис. Форма рабочего конца электрода $W + 2\% Y_2O_3$: а — до сварки; б — после сварки с пористым активирующим флюсом фторидно-окисной системы; ток 160 А, напряжение 12 В; в — после сварки в защитной среде $Ar + 3\% SF_6$; ток 100 А, напряжение 17 В

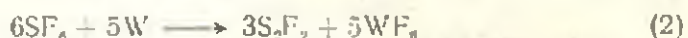
Таблица

Параметры процесса сварки	Величины параметров	
	с пористыми флюсами фторидно-окисной системы	в защитной среде $Ar + 3\% SF_6$
Диаметр электродов, мм	3	3
Сварочный ток, А	160	100
Напряжение, В	12	17
Вылет электрода, мм	27	27
Длина дуги, мм	1	1
Скорость сварки, м/час	10	10
Расход аргона, л/мин	14	14
Угол заточки электродов, ° град	30	30

Быстрое разрушение вольфрамовых электродов при сварке в защитной среде обусловлено как общей интенсификацией процесса сварки, так и химическим взаимодействием электродного материала с агрессивным гексафторидом серы.

Общая интенсификация процесса сварки, как и в случае порошковых активирующих флюсов, вызывает энергичное отравление электрода и быстрое диффузионное насыщение объема электродного материала железом, никелем, и хромом из расплавленной ванны с образованием легкоплавкого сплава.

Химическое разрушение вольфрамовых электродов при сварке в защитной среде вызвано высокой химической активностью гексафторида серы (элегаза). Известно [2], что уже при температуре 150–200° С элегаз взаимодействует с вольфрамом по реакциям:



с образованием летучего соединения WF_6 .

В условиях аргоно-дуговой сварки, когда продукты реакций (1), (2) постоянно удаляются потоком аргона, химическое взаимодействие и, следовательно, разрушение вольфрама происходит очень интенсивно.

Химическое разрушение электрода наглядно иллюстрирует участок А (рис. 1в), на котором изменение формы и геометрических размеров электрода за счет потери вольфрама особенно заметно. Конусообразность участка возникает вследствие имеющегося градиента скорости химических реакций вдоль оси электрода.

Качественная оценка процесса химического разрушения электродного материала $W + 2\% \text{ } \text{Al}_2\text{O}_3$, проведенная при температуре 1200° С, показала, что даже при такой сравнительно низкой температуре наблюдается исключительно интенсивное химическое взаимодействие вольфрама с гексафторидом серы защитной среды. Убыль веса образца электрода составила 0,1 г/см² сек.

МНСиС

Поступило 7 V. 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер К. А., Рахштадт А. Г. Материаловедение. М., «Металлургия», 1975, 447 с.
2. Hirooka K., Kawanawa H., Nishieo M., Mitsutani Y. Electrical Engineering in Japan, 1975, vol. 95, № 6, pp. 483–489.

Թ Ռ Վ Ա Ն Ի Ա Կ Ո Ւ Թ Յ ՈՒՆ

էշ

ՄԵՔԵՆԱՇԵՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Կ. Կեօրգյան: Լեռամեանի տաճարի ժողովի պատգմականության սահմանի բաշխման պարամետրերի գնահատումը

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐԱԿՏԻՍՏԻՆՆԵՐ

Ա. Գ. Իսմայան, Ն. Հ. Իսկղանյան: Լատերերորդ խմբի սահմանային վիճակների հրկաթե առև կոնստրուկցիաների հաշվարկի վերաբերյալ

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Ա. Ի. Մուտուրյան, Ս. Ս. Մարկելով: Նորույն բանաձևերի և ներմղման դեպքում զազա-
մուղում ճնշման միջին արժեքի և նրա կուտակման ունակության մասին 19

Ի. Ա. Ղազարյան, Ն. Ս. Խուրշուդով: Դադարաձուլման համակարգի զարգացման
օպտիմիզացումը դեկոմպոզիցիայի սկզբունքի կիրառմամբ 25

ՀԻՎՐՈՏԵՆՆԻԿԱ

Մ. Ա. Տարակյան: Նյութատիպական ցման տարածական մի խնդրի մասին ստորերկրյա
շրջանի աղտոտման դեպքում 30

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ, ՏԵԽՆԻԿԱ

Է. Ա. Գրիգորյան, Գ. Խ. Փլուշյան: Գյուղային մաշինական թաղանթների ծեղանցման
պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելի որոշման հարցի վերաբերյալ 37

Է. Ն. Սանուկյան, Ա. Ի. Սանվելյան: «ԱՆԻ» դիսկոգային ինֆորմացիոն համակարգում
ապահովվող լոգիստիկական ցանցի օպտիմիզացիայի բաղադրյալ կառուցվածքը և հնարավոր-
ությունները 42

ԴԻՏԱԿԱՆ ՆՈՒԹԵՐ

Ա. Ս. Դարբինյան, Ա. Հ. Խաչատրյան: Երկրաշարժերի ախտային ազդեցության դեպքում
շենքերի հաշվարկի մասին 47

Ա. Պ. Պալեյկիչ, Լ. Հ. Գասպարյան: Վոլֆրամային էլեկտրոդների քայքայումը ակտիվաց-
եռող ֆլուստերով արդեն-ազեղային հոսանքի դեպքում 51

СОДЕРЖАНИЕ

Стр

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- А. К. Геворкян. Оценка параметров распределения предела изгибной выносливости зубьев зубчатого колеса 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- С. Г. Нониксян, А. А. Гюлядян. К расчету железобетонных конструкций по второй группе предельных состояний 11

ЭНЕРГЕТИКА

- С. Н. Цатурян, С. С. Маркелов. О среднем значении давления и аккумулярующей способности газопровода с резким расширением при сосредоточенной подкачке 19
- В. А. Газарян, Н. С. Хурчедян. Оптимизация развития газотранспортных систем с применением принципа декомпозиции 23

ГИДРОТЕХНИКА

- М. А. Тиракчян. Об одной пространственной задаче массопереноса при нагнетании подземных вод 30

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- Н. А. Григорян, Г. А. Плянцян. К вопросу определения математической модели процесса старения цилиндрических магнитных пленок 37
- Э. А. Манукян, А. Р. Манвелян. Архитектура и возможности детерминированной базы данных, поддерживаемой в диалоговой информационной системе «Апп» 42

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

- С. С. Даринян, С. О. Хачатрян. К расчету зданий при волновом воздействии землетрясений 47
- А. П. Панкратич, Т. А. Гаспарян. Разрушение полифракционных электродов при аргоно-дуговой сварке с активизирующими флюсами 51