

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Բ. Դ. БЕДЖАՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ  
 И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ  
 РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
 МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

В статье приведены результаты исследования точности решения задачи оптимизации режимных параметров магистрального газопровода (МГ) на специализированном аналоговом вычислительном устройстве (СВУ), предназначенного для использования на диспетчерском пункте управления МГ в качестве советчика диспетчера.

Уравнения математической модели задачи расчета оптимальных режимных параметров МГ, приведенных к виду, удобному для моделирования, можно представить следующим образом [1]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\lambda}_i &= M_{1i} \int_0^t [\varepsilon_i p_{bi(t-1)} - p_{bi} - \varepsilon_i \alpha_{i-1} Q_{i(t-1)cp}] dt; \\ \dot{\varepsilon}_i &= \varepsilon_i [-\lambda_i (p_{bi(t-1)} - \alpha_{i-1} Q_{i(t-1)cp})]; \\ p_{bi} &= M_{2i} \int_0^t \left[ \frac{\partial N_{KCi}}{\partial p_{bi}} - \lambda_i + \lambda_{i-1} \varepsilon_{i-1} \right] dt, \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $\lambda_i$  — неопределенный множитель Лагранжа;  $\varepsilon_i$  — квадрат степени сжатия газа на  $i$ -ой компрессорной станции (КС);  $p_{bi}$  — квадрат давления газа на выходе  $i$ -ой КС;  $\alpha_i$  — комплексный параметр, учитывающий физическое состояние транспортируемого газа и топологию линейного участка МГ;  $Q_{i,cp}$  — квадрат среднего значения расхода газа на  $i$ -ом участке газопровода;  $\frac{\partial N_{KCi}}{\partial p_{bi}}$  — частная производная функции мощности  $i$ -ой КС по квадрату выходного давления;  $M_{1i}$ ,  $M_{2i}$  — коэффициенты уравнений, изменяющие время переходного процесса;  $i = 1, 2, \dots, n$  — число КС на рассматриваемой магистрали.

Построенная на основе системы уравнений (1) схема СВУ (рис. 1), кроме основных решающих блоков содержит блоки моделирования постоянных и переменных коэффициентов, инверторы и др., которые являются дополнительными источниками ошибок. Поэтому в основу анализа точности решения на СВУ положены машинные уравнения, имеющие для рассматриваемого случая вид:

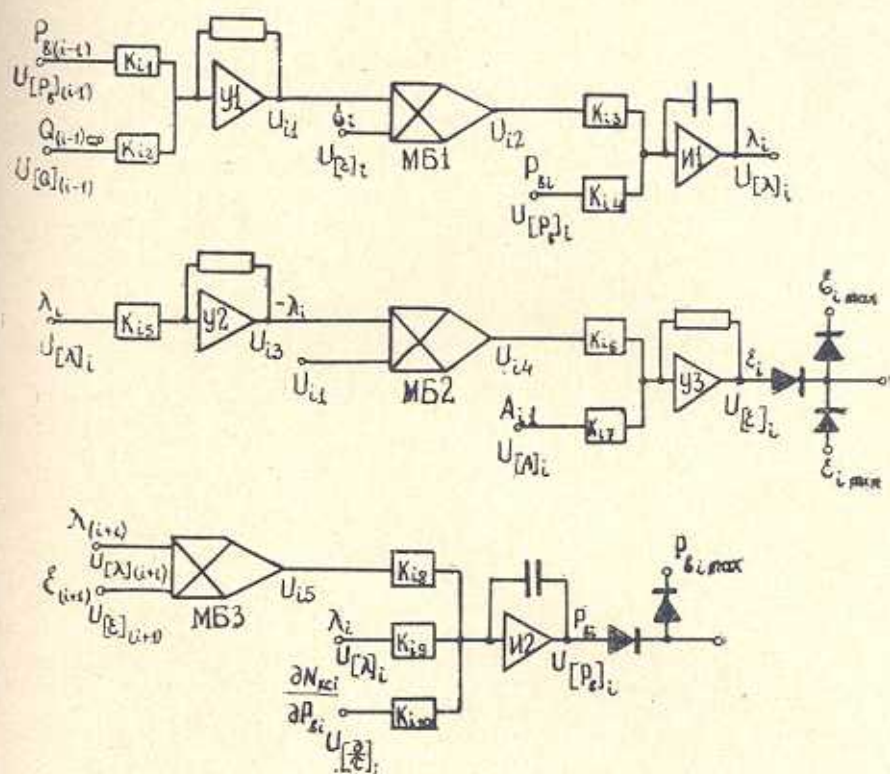


Рис. 1. Структурная схема моделирования уравнений исходной математической модели.

$$\left. \begin{aligned}
 U_{i1} &= -(K_{i1} U_{[P_{\beta}]_i(i-1)} + K_{i2} U_{[Q]_i(i-1)}); & U_{i2} &= \beta U_{i1} U_{i1(i-1)}; \\
 U_{[P_{\beta}]_i} &= -\frac{M_{i1}}{P_M} (K_{i3} U_{i2} + K_{i4} U_{[P_{\beta}]_i}); & U_{i3} &= -K_{i5} U_{[P_{\beta}]_i}; \\
 U_{i4} &= -(K_{i6} U_{i3} + U_{i7} K_{[A]_i}); & U_{i4} &= \beta U_{i3} U_{i1}; \\
 U_{[P_{\beta}]_i} &= -\frac{M_{i2}}{P_M} (K_{i8} U_{i5} + K_{i5} U_{[P_{\beta}]_i} + K_{i10} U_{[\frac{\partial}{\partial}]_i}); & U_{i5} &= \beta U_{[P_{\beta}]_i} U_{i1(i+1)},
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $U_{[P_{\beta}]_i}$  — неопределенный множитель Лагранжа;  $U_{i1(i)}$  — квадрат степени сжатия газа на  $i$ -ой КС;  $U_{[P_{\beta}]_i}$  — квадрат давления газа на выходе  $i$ -ой КС;  $U_{[Q]_i}$  — квадрат среднего значения расхода газа на  $i$ -ом участке;  $U_{[A]_i}$  — коэффициент аппроксимации производной характеристики КС  $\partial N_{КСi} / \partial z_i$ ;  $U_{[\frac{\partial}{\partial}]_i}$  — величина производной функции мощности  $i$ -ой КС по квадрату выходного давления;  $\beta$  — коэффициент передачи множительного блока;  $P_M = \frac{d}{dt_M}$  — машинный оператор дифференцирования;  $K_{ij}$  — коэффициент передачи решающего блока,  $j = 1, 2, \dots, m$  (значения  $U$  в системе  $(r)$  выражены в вольтах).



Погрешность выходных параметров складывается из погрешностей элементов СВУ и исходной информации. Погрешность СВУ определяется так называемыми первичными ошибками отдельных деталей и элементов, которые зависят от ошибок изготовления, сборки, регулирования, а также температурных временных отклонений параметров и дрейфа нуля усилителей решающих блоков [2].

Степень влияния отдельных составляющих ошибок на точность решения можно установить с помощью уравнений, полученных методами теории точности [3]:

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{11} &= - (K_{11} \Delta U_{[p_b] (i-1)} + K_{12} \Delta U_{[q] (i-1)}); \\
 \Delta U_{12} &= \Delta \beta U_{11} U_{[e] i} + \beta \Delta U_{11} U_{[e] i} + \beta U_{11} \Delta U_{[e] i}; \\
 \Delta U_{[p] i} &= - \frac{M_{11}}{\rho_M} (K_{13} \Delta U_{12} + K_{14} \Delta U_{[p_b] i}); \\
 \Delta U_{13} &= - K_{15} \Delta U_{[e] i}; \\
 \Delta U_{14} &= \Delta \beta U_{13} U_{11} + \beta \Delta U_{13} U_{11} + \beta U_{13} \Delta U_{11}; \\
 \Delta U_{[e] i} &= - (K_{16} \Delta U_{14} + \Delta K_{16} U_{14} + K_{17} \Delta U_{[A] i} + \Delta K_{17} U_{[A] i}); \\
 \Delta U_{15} &= \Delta \beta U_{[e] (i-1)} U_{[e] (i+1)} + \beta \Delta U_{[e] (i+1)} U_{[e] (i+1)} + \beta U_{[e] (i-1)} \Delta U_{[e] (i+1)}; \\
 \Delta U_{[p_b] i} &= - \frac{M_{21}}{\rho_M} (K_{18} \Delta U_{15} + K_{19} \Delta U_{[e] i} + K_{110} \Delta U_{[e] i}).
 \end{aligned} \tag{3}$$

Уравнения (3) составлены с учетом погрешности на исходные данные  $U_{[p_b] i}$ ,  $U_{[q] i}$ ,  $U_{[A] i}$ , а также погрешности коэффициентов передач  $K_{16}$ ,  $K_{17}$ ,  $\beta$ , непосредственно влияющих на исследуемые параметры  $U_{[e] i}$ .

Структурная схема моделирования уравнений (3) преобразованной модели представлена на рис. 2. Для получения погрешностей выходных параметров на входы схемы рис. 2, необходимо подать напряжения  $U_{11}$ ,  $U_{[e] i}$ ,  $U_{13}$ ,  $U_{14}$ ,  $U_{[A] i}$ ,  $U_{[e] (i+1)}$ ,  $U_{[e] (i+1)}$ , получаемые с выходов устройства рис. 1.

При исследовании точности рассматриваемого СВУ следует приять во внимание, что ошибки решающих блоков являются случайными величинами и анализ следует проводить с помощью вероятностных формул [4]. При гауссовом распределении случайных ошибок решающих блоков уравнение для вычисления допуска на ошибки выходных параметров СВУ примет вид:

$$\begin{aligned}
 [\partial \Delta U_{[e] i}]^2 &= \left( \frac{\partial \varphi_i}{\partial U_{[p] i}} \right)^2 (\partial \Delta U_{[p] i})^2 + \left( \frac{\partial \varphi_i}{\partial U_{[p_b] (i-1)}} \right)^2 (\partial \Delta U_{[p_b] (i-1)})^2 + \\
 &+ \left( \frac{\partial \varphi_i}{\partial U_{[q] (i-1)}} \right)^2 (\partial \Delta U_{[q] (i-1)})^2 + \sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial \varphi_i}{\partial K_{1j}} \right)^2 (\partial \Delta K_{1j})^2,
 \end{aligned} \tag{4}$$

где частные производные представляют собой коэффициенты влияния погрешностей отдельных решающих блоков на погрешность выходных





Таблица 1  
Влияние погрешностей эквивалентных характеристик КС на точность результатов расчета

№№	Погрешность эквивалентных характеристик КС	Исходные параметры МГ, выраженные в вольтах		
		$\Delta U_{[1]1}$ , %	$\Delta U_{[1]2}$ , %	$\Delta U_{[1]3}$ , %
		$U_{[Pb]0} = 60 \text{ В}; U_{[Q]2} = 34,5 \text{ В}; U_{[A]1} = 30 \text{ В};$ $U_{[Q]0} = 40 \text{ В}; U_{[Q]3} = 33 \text{ В}; U_{[A]2} = 31 \text{ В};$ $U_{[Q]1} = 40 \text{ В}; U_{[Pb]3} = 25 \text{ В}; U_{[A]3} = 34 \text{ В}$		
1	$\Delta U_{[A]1} = \Delta K_{15} = \Delta K_{17} = 5\%$	2	1,4	4,5
2	$\Delta U_{[A]1} = \Delta U_{16} = \Delta K_{17} = 10\%$	5,8	4	9,7
3	$\Delta U_{[A]1} = \Delta K_{16} = \Delta A_{17} = 15\%$	11	7,4	12,9

Степень влияния точности вычислительного устройства на результаты расчета  $U_{[1]1}$  была исследована для случаев точности СВУ 1,2 и 3%. В табл. 2 приведены расчетные величины погрешностей выходных параметров  $\delta|\Delta U_{[1]1}|$  для рассматриваемых случаев точности СВУ, при задании исходных параметров МГ  $\delta|\Delta U_{[Pb]1}|$ ,  $\delta|\Delta U_{[Q]1}|$  с погрешностью 5,8%.

Таблица 2  
Влияние ошибок коэффициентов передач СВУ на точность результатов расчета

№№ п.п.	Инструментальная погрешность	1-ый вариант расчета			2-ой вариант расчета		
		Погрешность исх. инф. 5%			Погрешность исх. инф. 8%		
		$\delta \Delta U_{[1]1} $ , %	$\delta \Delta U_{[1]2} $ , %	$\delta \Delta U_{[1]3} $ , %	$\delta \Delta U_{[1]1} $ , %	$\delta \Delta U_{[1]2} $ , %	$\delta \Delta U_{[1]3} $ , %
1	$\delta \Delta K_{ij}  = 1\%$	0,12	0,11	0,15	0,16	0,1	0,3
2	$\delta \Delta K_{ij}  = 2\%$	0,3	0,19	0,4	0,4	0,15	0,55
3	$\delta \Delta K_{ij}  = 3\%$	0,5	0,25	0,75	0,75	0,2	0,78

### Выводы

1. Анализ результатов исследования показал, что на точность расчета оптимальных режимных параметров МГ значительное влияние оказывают погрешности моделируемых характеристик КС. При учете точности исходной информации влияние погрешности СВУ на точность расчета составляет незначительную долю. Полученные результаты обосновывают целесообразность использования СВУ для автоматизации процесса расчета оптимальных параметров режима работы МГ.

2. Оценку влияния погрешностей исходной информации и решающих блоков СВУ на точность расчета режимных параметров МГ удобно проводить при помощи преобразованной модели, позволяющей наиболее просто осуществить выполнение значительного объема математических операций.

Ер. компл. отдел ВНИИГазпрома

Поступило 15.VI.1977.

Գ. Գ. ՔԵԶԱՆՅԱՆ

ԵՎՄԱՆ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՍԻՆ ԵՎ ԳՈՐԾԻՔԱՅԻՆ ՍԽԱՎԱՆՔՆԵՐ  
ԱԶԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՄԱԳԻՍՏՐԱՎԱՅԻՆ ԳԱԶԱՄՈՒՂԻ  
ՕՊՑԻՄԱԼ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԱՐԿՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՎՐԱ.

Ա մ ֆ ո ֆ ու լ ի

*Հողվածում բերված են հատուկ անալոգիային հաշվիչ տարրի միջոցով կատարած գաղափարի օպտիմալ ռեժիմային պարամետրերի հաշվարկի հըշտության հետազոտման արդյունքները ելման ինֆորմացիայի և հաշվիչ էլեմենտների տարրեր սխալանքների դեպքում:*

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Матвоян П. А., Беджанян Г. Д. Автоматизация расчета оптимальных давлений в узловых точках магистрального газопровода. «Труды ВНИИЭГазпрома, сер. Управление и организация труда в газовой промышленности», 1976, вып. 1/1, с. 94—102.
2. Смолов В. Б. Аналоговые вычислительные машины. М., «Высшая школа», 1972, с. 408.
3. Матвоян П. А. К вопросу о расчете точности аналоговых математических моделей. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXI, № 1, 1968, с. 28—35.
4. Справочник по аналоговой вычислительной технике. Киев, «Техника», 1975, с. 432.