где $\varepsilon_V = \delta V/\delta x_g$. Решая (13) относительно m с учетом $m_0 = F(h_0)$, $m_k = m_0 \mp m$ и $h_k = F^{-1}(m_k)$, получаем зависимость минимальной массы, измеренной с погрешностью δM_g, от начального уровня жидкости в резервуаре произвольной формы при товарных операциях

$$m_{min} = \Gamma(h_0). \tag{14}$$

Программная реализация полученных математических моделей позволит провести всесторонний анализ метрологических характеристик косвенных измерений в резервуарах произвольной формы и построить информационно-вычислительную систему количественно учета жидкости в резервуарах.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 26976-86. Нефть и нефтепродукты. Методы измерения массы.—М.: Изд.-во Энергоатомиздат, 1985.—248 с.
2. *Новицкий П. В., Зограф И. А.* Оценка погрешности результатов измерений.—Л.: Энергоатомиздат, 1985.—248 с.
3. *Кюрегян С. Г., Тер-Хачатуров А. А.* Метрологические модели в автоматизированных системах распределения жидких продуктов/Сб.: Автоматизированные системы планирования и управления.—Ереван: Айастан, 1990.—с. 61—68.
4. *Кюрегян С. Г.* Пределы измерения массы жидкости в вертикальных резервуарах гидростатическим методом./Измерительная техника.—1990.—№ 10.—С. 18—20.

ЕрПИ 10. III. 1991

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIV, № 5—6, 1991, с. 277—281.

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 622.691.4.001

С. Г. АКОПЯН, М. С. АКОПЯН

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ В РАСЧЕТАХ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА ГАЗА

Предлагается метод коррекции гидравлического состояния при многократном анализе установившихся режимов систем транспорта газа, обеспечивающий высокую эффективность расчетов на ЭВМ и допустимую точность. Метод основан на применении модифицированной формы теоремы Телледжена, впервые нашедшей свое практическое применение в расчетах гидравлических цепей газотранспортных систем (ГТС) при анализе чувствительности. Теорема Телледжена, получая интерпретацию для гидравлических цепей, может явиться основой для построения новой прикладной теории для анлиза и синтеза ГТС.

Библиогр.: 4 назв.

[illegible]

ժամանակ։ Թեյլեջենի թեորեմը, ստանալով հիդրավլիկական շղթաների համար մեկնաբանում, կարող է հիմք հանդիսանալ նոր կիրառական տեսության ստեղծման գործում, ԳՓՀ վերլուծության և համազգայնության ժամանակ։

В [1] рассмотрен метод коррекции потокораспределения установившихся режимов газотранспортных систем (ГТС), основанный на использовании теории чувствительности.

Основываясь на общих положениях теоремы Телледжена [2], в настоящей работе предлагается совершенно другой подход к решению задачи анализа чувствительности в расчетах коррекции гидравлического состояния ГТС. Показано, что при использовании теоремы Телледжена применительно к гидравлическим цепям ГТС и элементарных вычислительных процедур для определения чувствительности по всем параметрам достаточно провести анализ двух схем—исходной физически существующей схемы ГТС и некоторой другой подобной схемы, которая физически не существует, но по топологии тождественна (идентична) с исходной схемой.

Рассмотрим две схемы – исходную физическую схему ГТС и подобную схему. Давления узлов (P_j и P'_j), потоки газа на участках (Q_i и Q'_i), входные и выходные потоки газа в ГТС (q_j и q'_j) обеих схем удовлетворяют законам Кирхгофа. Тогда согласно [2] гидравлические цепи систем транспорта газа произвольной структуры, состоящие из s узлов и n ветвей (участков), подчиняются следующему балансному уравнению квазимощностей, которое в матричной форме представим в виде

$$(q_j - [A_{ji}]\, Q_i)^t\, P'_j = 0, \tag{1}$$

$j = \overline{1, s}, \quad i = \overline{1, n}.$

В (1) параметры подобной схемы обозначены штрихом, а верхний индекс t—знак транспонирования.

Предположим, имеем решение задачи потокораспределения установившегося режима ГТС [3] для одного базового состояния системы P^0_j, Q^0_i, соответствующее заданным значениям параметров P^0_r, q^0_j, и произошло изменение режима, вызванное изменением параметров управления ΔP_r и неуправляемых параметров Δq_j и ΔK_i. Новые приращенные значения давления и потоков, которые действуют в схеме ГТС, удовлетворяют законам Кирхофа, а, следовательно, и уравнению (1). Подставляя приращенные значения давлений и потоков в (1) и пренебрегая членами второго порядка малости, получаем

$$(\Delta q_j - [A_{ji}]\, \Delta Q_i)^t\, P'_j = 0. \tag{2}$$

Уравнения состояния газопроводных участков и участков с компрессорными станциями (КС) в приращениях представим в матричной форме записи [1]:

$$2[\bar{A}_{ji}]\,[E_s P_j]\,\Delta P_j = 2[E_n K_i Q_i]\,\Delta Q_i + [E_n Q_i^2]\,\Delta K_i, \tag{3}$$

$j = \overline{1, s}, \quad i = \overline{1, n}.$

тогда из (2) и (3) получим

$$(\Delta q_j - [A_{ji}][E_n K_i Q_i]^{-1}[\bar{A}_{ij}][E_s P_j]\Delta P_j +$$

$$+ \frac{1}{2}[A_{ji}][E_n K_i Q_i]^{-1}[E_n Q_i^2]\Delta K_i])' P_j' = 0. \qquad (4)$$

Поскольку в (1) участвуют уравнения материального баланса относительно всех s узлов ГТС, то матрица

$$[A_{ji}][E_n K_i^0 Q_i^0]^{-1}[\bar{A}_{ij}] = [g_{jk}], \qquad (5)$$

$j, k = \overline{1, s}, \quad i = \overline{1, n},$

входящая в (4), в соответствии со строением полной матрицы узловых проводимостей электрических цепей (при отсутствии поперечных элементов) вырожденная [4]. При этом диагональные элементы (собственные проводимости) матрицы (5) определяются

$$g_{jj} = \sum_{\substack{k=1 \\ j \neq k}}^{s} |g_{jk}|, \qquad j = \overline{1, s}. \qquad (6)$$

Матрица (5) будет невырожденной, если в соответствии с постановкой задачи потокораспределения установившихся режимов ГТС [3] узловые точки $r = m+1, m+2, \ldots, s$ принимать за базисные по давлению и балансирующие по потоку газа. Давления P_r в этих узлах предполагаются заданными. Заданными также являются внешние потоки газа q_k $(k = \overline{1, m})$, а давление узлов P_k и внешние потоки газа балансирующих узлов q_r $(r = \overline{m+1, s})$ определяются. В соответствии с этим, матрицы и вектора, входящие в (4), разобъем на клетки низших порядков

$$\Delta q_j = [\Delta q_k \mid \Delta q_r]', \qquad \Delta P_j = [\Delta P_k \mid \Delta P_r]', \qquad (7)$$

$$P_j' = [P_k' \mid P_r']', \qquad [A_{ji}] = [A_{ki} \mid A_{ri}]', \qquad (8)$$

$$[A_{ji}][E_n K_i^0 Q_i^0]^{-1}[\bar{A}_{ij}] = \left[\begin{array}{c|c} g_{jk} & g_{jr} \\ \hline g_{rj} & g_{rl} \end{array}\right]. \qquad (9)$$

В левых частях (7)—(9) индексы $j = \overline{1, s}$, $i = \overline{1, n}$, а в правых частях — $j = k = \overline{1, m}$, $r = l = \overline{m+1, s}$, $i = \overline{1, n}$.

В правой части (9) квадратные блоки, расположенные в диагонали, при наличии КС в ГТС несимметричные, размерности m^2 и $(s-m)^2$ соответственно, а недиагональные блоки прямоугольные, размерности $(s-m)\,m$ и $m(s-m)$. При этом элементы прямоугольных матриц входят в сумму (6) диагональных элементов квадратных матриц, поэтому

$$g_{jj} \geqslant \sum_{\substack{k=1 \\ j \neq k}}^{m} |g_{jk}|, \qquad j = \overline{1, m}, \qquad (10)$$

$$g_{rr} > \sum_{\substack{l=m+1 \\ r \neq l}}^{s} |g_{rl}|, \quad r = \overline{m+1, s}. \tag{11}$$

В (10) знак строгого неравенства относится к узлам, связанным с балансирующими.

Поскольку имеет место соотношение (10) и (11), то из теоремы О. Таусски [4] следует, что квадратные блоки, расположенные в диагонали матрицы (9), невырожденные. Следовательно, квадратные блоки, расположенные на диагонали матричного произведения

$$\left[\begin{array}{c|c} g_{kl} & g_{rl} \\ \hline g_{rl} & g_{rl} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c|c} E_m P_k & 0 \\ \hline 0 & E_r P_r \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} G_{lk} & G_{lr} \\ \hline G_{rl} & G_{rl} \end{array}\right] \tag{12}$$

и входящие в (4), также будут невырожденными, поскольку подматрицы $E_m P_k$ и $E_r P_r$ диагональные и невырожденные. Причем подматрица G_{lk}, входящая в (12), представляет собой невырожденную матрицу Якобя

Учитывая (7), (8), (9), (12), выражение (4) представим в виде

$$\Delta q_k^t P_k - \Delta P_k^t (G_{lk}^t P_k + G_{rl}^t P_r) + \Delta K_l^t G_{kl} P_k +$$

$$+ \Delta q_r^t P_r - \Delta P_r^t (G_{rl}^t P_k + G_{rl}^t P_r) + \Delta K_l^t G_{rl} P_r = 0, \tag{13}$$

где

$$G_{kl} = \frac{1}{2} [A_{kl}] [E_n K_l^0 Q_l]^{-1} [E_n (Q_l)^2],$$

$$G_{rl} = \frac{1}{2} [A_{rl}] [E_n K_l^0 Q_l]^{-1} [E_n (Q_l)^2].$$

Поскольку подобная схема физически не существует, то модифицированная форма теоремы Телледжена [2] представляет определенную свободу в выборе параметров этой схемы. Воспользуемся этим и выберем параметры подобной схемы таким образом, который позволил бы достаточно эффективно определить искомые параметры чувствительности ΔP_k через реакции исходной схемы ГТС. С учетом требований рассматриваемой задачи параметры P могут быть выбраны таким образом, чтобы можно было из (13) найти ΔP. Для этого примем в (13) параметры подобной схемы $P_r = 0$, тогда появляется возможность определения ΔP_k. Параметры P_k подобной схемы выбираются таким образом, чтобы они удовлетворяли следующей системе линейных алгебраических уравнений:

$$G_{lk}^t P_k = e_k, \quad l = k = \overline{1, m}, \tag{14}$$

где e_k — единичные векторы-столбцы:

$$e_1 = [1, 0, \ldots, 0], \quad e_2 = [0, 1, 0, \ldots, 0], \ldots, e_m = [0, 0, \ldots, 0, 1].$$

Поскольку матрица G_{jk} невырожденная, то

$$P_k = [G'_{jk}]^{-1} e_k, \qquad j = k = \overline{1, m}. \tag{15}$$

С учетом выбранных параметров P_r и P_k подобной схемы уравнение (13) значительно упрощается

$$\Delta P_k = -G_{jk}^{-1} G_{jr} \Delta P_r - G_{jk}^{-1} G_{ji} \Delta K_i - G_{jk}^{-1} \Delta q_k. \tag{16}$$

После определения вектора поправок можно осуществить коррекцию этого режима

$$P_k^{\text{кор}} = P_k^0 + \Delta P_k, \qquad k = \overline{1, m}, \tag{17}$$

$$P_r^{\text{кор}} = P_r^0 + \Delta P_r, \qquad r = \overline{m+1, s}. \tag{18}$$

После нахождения по (17) и (18) корректированных значений узловых давлений определяются корректированные значения потоков газа на участках Q_i' по уравнениям состояния газопроводных участков и участков с КС. Корректированные значения узловых расходов (подачи) q_r' определяются из балансовых уравнений потоков газа, составленных относительно балансирующих $r = m+1, m+2, \ldots, s$ узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Акопян С. Г.* Метод коррекции потокораспределения установившихся режимов систем транспорта газа// Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1991.—№ 1.— С. 178—186.
2. *Акопян С. Г.* Модифицированная форма теоремы Телледжена применительно к гидравлическим цепям систем транспорта газа /Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.— 1989.—Т. 42, № 2.—С. 64—67.
3. *Акопян С. Г.* Расчет потокораспределения стационарного режима газотранспортной системы//Проблемы совершенствования и развития прогрессивных технико-экономических норм и нормативов в газовой промышленности: Сб. науч. тр. ВНИИЭгазпром.— М., 1982.— С. 81—91.
4. *Пароди М.* Локализация характеристических чисел матриц и ее применение.— М.: Изд-во иностр. лит., 1960.— 161 с.

ЕрПИ 7. XII. 1990