

Журнал издается с 5.01. 1948 г.

Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒԵՏԻՍ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ն. Թերզյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ս. Ղազարյան, Ռ. Մարտիրոսյան, Ն. Մանուկյան, Տ. Մարգարյան, Յու. Մարգարյան, Վ. Մարգարյան, Մ. Ստեփանյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար), Վ. Նաչատրյան, Ն. Զոչինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. Мартиросян (главный редактор), Р.В. Атоян (зам. глав. редактора), С.М. Казарян, Г.А. Кочикян, Н.В. Манукян, В.З. Марухян, В.С. Саркисян, Ф.Т. Саркисян, Ю.Л. Саркисян, М.Г. Стакян (зам. глав. редактора), З.К. Степанян (ответственный секретарь), А.А. Терзян (зам. глав. редактора), В.С. Хачатрян.

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirosyan (Editor in-Chief), R.V. Atoyan (Vice-Editor-in-Chief), S.M. Ghazaryan, V.S. Khachatryan, H.J. Kochikyan, N.V. Manoukyan, V.Z. Maroukhyan, F.T. Sarkissyan, V.S. Sarkissyan, Yu.L. Sarkissyan, M.G. Stakyan (Vice-Editor-in-Chief), Z.K. Stepanyan (Secretary-in-Chief), H.A. Terzyan (Vice-Editor-in-Chief)

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ
ԿՈՄՊՅՈՒՏԱԿԱՆ ՎԵՐԱԿԱՌԱՐՈՒՄԻ ԳԻՏԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ
ԳԻՏԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ԿԱՌԱՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ

THE JOURNAL IS PUBLISHED IN THE COMPUTER
PUBLISHING CENTER ESTABLISHED BY THE
DONATION OF THE ARMENIAN EDUCATIONAL
FOUNDATION (USA)

Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԻԹ ՍՄՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 1996

Н.А. БАЗИКЯН, А.Н. АЛОЯН, В.Р. НИКОГОСЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВНОСТИ ХОДА КОЛЕСНОГО УНИВЕРСАЛЬНО- ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА КЛ. 14 кН

Ներկայացված է ՄՏՁ-80 անվաճոր համապիտանի շարահերքային տրակտորի չափանիշային անհարթությունով անցնելիս, որը նմանակում է տարածման հողային-ճանապարհային անհարթությունները: Փորձերը կատարված են տրակտորի ընթացքով և զուգանով տրանսպորտային վիճակով արագությունների 2...10 մ/վ տիրույթում: Ստացվել են անվաճոր-արագություն բնութագրեր, որոնք արտացոլում են տրակտորի անիվների շարժման ուղղածիզ արագությունները և ճոճման անկյան կապը շարժման արագությունից: Այդ բնութագրերը կարող են հիմք դառնալ անվաճոր համապիտանի շարահերքային տրակտորի ընթացքի սահունության գնահատման համար:

Проведено экспериментальное исследование универсально-пропашного трактора МТЗ-80 на переезде через единичную эталонную неровность, имитирующую распространенные почвенно-дорожные неровности. Испытания проводились на холостом ходу трактора и с плугом в транспортном положении в интервале скоростей 2...10 м/с. Получены амплитудно-скоростные характеристики, отражающие зависимость вертикальных ускорений над задней и передней осями и углов раскачивания остова трактора от скорости движения, которые могут быть основой для оценки плавности хода колесного универсально-пропашного трактора в реальных условиях эксплуатации.

Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

Experimental studies on wheeled general-purpose plough tractor MT 3-80 for passing through single standard roughness imitating well-known soil-road roughnesses have been conducted. The tests were carried out with an idle stroke of the tractor and with a plough in transporting state with speed interval from 2 to 10 m/s. Amplitude speed characteristics reflecting dependence of vertical speed-up on rear and front axes and angles of tractor skeleton swinging from the movement of the speed are obtained. These characteristics can become the base for stroke smoothness of wheeled general-purpose plough tractor in real maintenance conditions.

Ill. 3. Ref. 3

При выборе и обосновании параметров поддрессоривания необходимо учесть многообразие внешних и внутренних факторов и рассматривать машину как систему более высокого ранга [1]. Оптимизация параметров поддрессоривания колесных машин требует комплексного исследования с учетом разнообразия условий эксплуатации, а именно: дорожного фона, скорости движения и способов агрегатирования.

Для полной оценки плавности хода универсально-пропашного трактора МТЗ-80 проводилось экспериментальное исследование. Учитывая, что испытания тракторов, проводимые в различных естественных условиях их эксплуатации, имеют некоторые недостатки (отсутствие стабильности и однообразности условий испытаний), эксперименты трактора МТЗ-80 проводились на искусственных (эталонных) неровностях [2, 3]. В результате анализа наиболее распространенных почвенно-дорожных микропрофилей

приняты следующие параметры эталонной искусственной неровности: высота - 0,45 м, длина - 0,7 м, профиль неровности - синусоидальный. Испытания проводились на переезде через единичную неровность при движении трактора на холостом ходу и с навесным плугом ПН-3-35 в транспортном положении, в интервалах скоростей от 2 до 10 м/с.

Результаты экспериментов получены с использованием современного комплекса измерительной аппаратуры в условиях полигона ЮФ НАТИ (пос. Елвард). Обработка и анализ результатов испытаний проводились по среднеарифметическим значениям максимальных величин измерителей при двух-трехкратном повторении опыта на задней скорости движения. При этом построены амплитудно-скоростные характеристики (АСХ), отражающие зависимость параметров колебаний в характерных точках остова от скорости движения трактора. Значения вертикальных ускорений рассматривались с учетом направления действия, а именно направленные вниз ускорения от статического положения остова - положительными, а вверх - отрицательными.

Анализ АСХ вертикальных ускорений Z_z над задней осью трактора при его переезде через единичную неровность (рис. 1) показал, что как на холостом ходу, так и в агрегате с плугом в транспортном положении с увеличением рабочих скоростей движения трактора вертикальные ускорения уменьшаются, т.е. происходит сглаживание колебаний. Вертикальные ускорения над задней осью трактора имеют максимальные значения при скоростях движений 2,5 - 3,5 м/с, что соответствует зоне, в которой возникает низкочастотный парциальный резонанс подвесочной массы трактора по длине неровности.

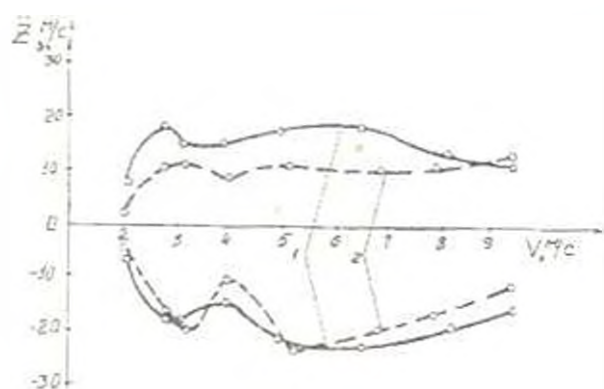


Рис. 1. Зависимость $Z_z = f(V)$:

1 - на холостом ходу; 2 - с плугом ПН-3-35 в транспортном положении

Подобное явление отмечается и в АСХ вертикальных ускорений, действующих на сиденье водителя (рис. 2), однако здесь абсолютные значения ускорения в обоих направлениях значительно выше допустимых во всем диапазоне изменения скоростей. Например, при $V = 10$ км/ч (2,8 м/с) - $Z_z \leq 3,9$ м/с². Наличие плуга в транспортном положении приводит к некоторому снижению ускорения в положительном направлении, т.е. вниз от статического положения остова трактора.

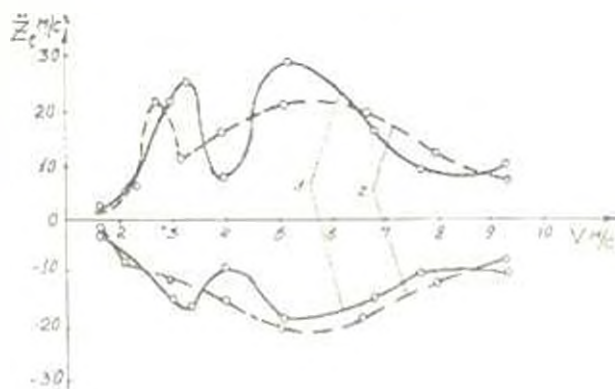


Рис. 2 Зависимость $Z_v = f(V)$
(обозначения аналогичны рис. 1)

Из полученных АСХ и суммарных углов раскачивания остова трактора в вертикальной продольной плоскости (рис. 3) следует, что при преодолении единичной неровности трактором в агрегате с плугом в транспортном положении угол раскачивания остова трактора уменьшается в среднем на 40...50% во всем диапазоне скоростей движения.

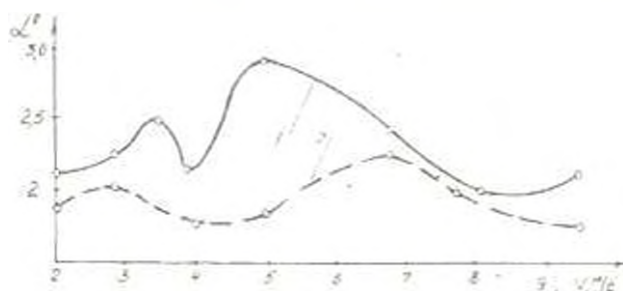


Рис. 3 Зависимость $\alpha = f(V)$
(обозначения аналогичны рис. 1)

Таким образом, уровень низкочастотных колебаний на рабочем месте тракториста при работе трактора как на холостом ходу, так и в агрегате с плугом в транспортном положении в реальных условиях эксплуатации в интервале рабочих скоростей 2...10 м/с значительно превышает допустимое значение. С увеличением скорости движения трактора абсолютное значение вертикальных ускорений над осью заднего моста и на рабочем месте трактора, а также угол раскачивания уменьшаются, т.е. происходит эффект сглаживания.

Плавность хода универсально-пропанного колесного трактора кл. 14 кН (МТЗ-80) в характерных режимах работы неудовлетворительна из-за отсутствия эффективной системы поддрессирования его остова, что выдвигает необходимость совершенствования как остова трактора, так и рабочего места тракториста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фурунжиев Р.И., Останин А.Н. Управление колебаниями многопорных машин. - М.: Машиностроение, 1984. - 206 с.
2. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании процессов. - М.: Машиностроение, 1981. - 184 с.
3. ГОСТ 7057-81. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытания. - М. 1981. - 25 с.

Армсельхозинститут

10.06.94

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 1, 1996, с. 6-11.

УДК 621.311.001

ЭНЕРГЕТИКА

Р.А. БАБАЯН

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ P-Q- ТИПЕ СТАЦИОННЫХ УЗЛОВ

Առաջարկվում է էլեկտրատեղեղենիական համակարգերի կայունացված ռեժիմի հաշվարկի մեթոդիկա, երբ ցանցի վիճակը տրվում է Z-Y տեսքով: Ի տարբերություն գոյություն ունեցող մեթոդների, առաջարկվում է շրջել էլեկտրական կայանների Y վանդակի մատրիցը, որի դեպքում խիստ նվազում է հաշվողական ծավալը:

Предлагается метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы при Z-Y форме задания состояния сети. В отличие от существующих методов предлагается обращение Y-блока матрицы стационарных узлов, число которых в ЭЭС намного меньше, чем число нагрузочных узлов, что позволяет значительно уменьшить объем вычислительных работ.

Библиогр.: 2 назв.

A method of calculation for steady-state conditions of an electrical power system having Z-Y units of circuit state is proposed. Apart from the existing methods a Y-unit matrix inversion of the stationary units is proposed, the number of which is much less in an electrical power system than the number of loading units, and this permits to decrease considerably the volume of computational work.

Ref. 2.

Рассматривается электроэнергетическая система (ЭЭС), состоящая из $(\Gamma+1)$ стационарных и Π нагрузочных узлов. После выбора одного из стационарных узлов в качестве базисного ЭЭС будет состоять из $(\Gamma+\Pi)$ независимых узлов. Как известно, уравнение состояния ЭЭС в Y-форме при матричной записи имеет следующий вид:

$$I = YU, \quad (1)$$

где I — многомерный вектор комплексных токов $(\Gamma+\Pi)$ независимых узлов;

U — многомерный вектор комплексных напряжений $(\Gamma+\Pi)$ независимых

узлов относительно базисного узла. Y -неособенная квадратная матрица узловых комплексных проводимостей порядка $(\Gamma + N)$. После выбора систем индексов для станционных $m(n) = 0, 1, 2, \dots, \Gamma$ и нагрузочных узлов $k(l) = \Gamma + 1, \Gamma + 2, \dots, \Gamma + N$ и выбора станционного узла с индексом "0" в качестве базисного матричное уравнение (1) в блочно-матричной форме принимает вид

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_n \\ \dot{I}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{nn}^{-1} & Y_{n\ell} \\ Y_{kn}^{-1} & Y_{k\ell} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{n0} \\ \dot{U}_{\ell 0} \end{bmatrix} \quad (2)$$

После определенного преобразования матричное уравнение (2) можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{n0} \\ \dot{I}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{nn}^{-1} & -Y_{nn}^{-1} Y_{n\ell} \\ Y_{kn}^{-1} Y_{nn}^{-1} & Y_{k\ell} - Y_{kn}^{-1} Y_{nn}^{-1} Y_{n\ell} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_n \\ \dot{U}_{\ell 0} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Полученное матричное уравнение (3) называется гибридным уравнением, а квадратная матрица постоянных отличается от заранее известных форм, используемых в [1]. Предлагаемая форма представления гибридной матрицы является результатом того, что станционные узлы являются узлами P-Q. Известно, что в ЭЭС, как обычно, число станционных узлов намного меньше, чем число нагрузочных узлов. Поэтому целесообразно обращение Y_{nn} -подматрицы станционных узлов, чем $Y_{k\ell}$ -подматрицы нагрузочных узлов.

Представим матричное уравнение (3) в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{n0} \\ \dot{I}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{nn} & H_{n\ell} \\ H_{kn} & Y_{k\ell} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_n \\ \dot{U}_{\ell 0} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\text{где } Z_{nn} = Y_{nn}^{-1}, \quad Y_{k\ell} = Y_{k\ell}, \quad H_{n\ell} = -Z_{nn} Y_{n\ell}, \\ H_{kn} = Y_{kn} Z_{nn}.$$

Представим матричное уравнение (4) в алгебраической форме:

$$\dot{U}_{n0} = \sum_{n=1}^{\Gamma} Z_{nn} \dot{I}_n + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma+N} H_{n\ell} \dot{U}_{\ell 0} \quad (5)$$

$$\dot{I}_k = \sum_{n=1}^{\Gamma} H_{kn} \dot{I}_n + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma+N} Y_{k\ell} \dot{U}_{\ell 0} \quad (6)$$

Поскольку $\dot{U}_{n0} = \dot{U}_n - \dot{U}_0$, $\dot{U}_{\ell 0} = \dot{U}_{\ell} - \dot{U}_0$ то уравнения (5) и (6) после преобразования принимают следующий вид:

$$\dot{U}_n = \dot{U}_{m0} + \sum_{n=1}^{\Gamma} Z_{nn} \dot{I}_n + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma+N} H_{n\ell} \dot{U}_{\ell} \quad (7)$$

$$\dot{I}_k = \dot{I}_{kb} + \sum_{n=1}^{\Gamma} H_{kn} \dot{I}_n + \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma+N} Y_{k\ell} \dot{U}_{\ell} \quad (8)$$

$$\text{где } \dot{U}_{m0} = (1 - \sum_{\ell=\Gamma+1}^{\Gamma+N} H_{n\ell}) \dot{U}_0.$$

Как независимые станционные узлы, так и нагрузочные узлы являются узлами типа P-Q, поэтому системы уравнений (7) и (8) также

необходимо выразить через активные и реактивные мощности. Умножая обе стороны уравнения (7) на $\dot{I}_m$ и обе стороны уравнения (8) на $\dot{U}_k$, получаем

$$P_m + jQ_m = \dot{U}_{mb} \dot{I}_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} \dot{I}_m Z_{mn} \dot{I}_n + \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_m H_{ml} \dot{U}_l, \quad (9)$$

$$P_k - jQ_k = \dot{U}_k \dot{I}_{kb} + \sum_{n=1}^{\Gamma} \dot{U}_k H_{kn} \dot{I}_n + \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{U}_k Y_{kl} \dot{U}_l. \quad (10)$$

Представим системы уравнений (9) и (10) в виде

$$P_m + jQ_m = \dot{S}_{mb} + \sum_{n=1}^{\Gamma} \dot{I}_m Z_{mn} \dot{I}_n, \quad (11)$$

$$P_k - jQ_k = \dot{S}_{kb} + \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{U}_k Y_{kl} \dot{U}_l. \quad (12)$$

В (11) и (12) были приняты следующие обозначения:

$$\dot{S}_{mb} = \dot{U}_{mb} \dot{I}_m + \sum_{n=\Gamma+1}^{\Gamma+H} \dot{I}_m H_{mn} \dot{U}_n, \quad \dot{S}_{kb} = \dot{U}_k \dot{I}_{kb} + \sum_{n=1}^{\Gamma} \dot{U}_k H_{kn} \dot{I}_n.$$

Разлагая уравнение (11) на действительные и мнимые составляющие, получаем

$$P_m = P_{mb} + \sum_{n=1}^{\Gamma} [R_{mn} (I'_m I'_n + I''_m I''_n) + X_{mn} (I''_m I'_n - I'_m I''_n)], \quad (13)$$

$$Q_m = Q_{mb} + \sum_{n=1}^{\Gamma} [R_{mn} (I'_m I''_n - I''_m I'_n) + X_{mn} (I'_m I'_n + I''_m I''_n)]. \quad (14)$$

Здесь

$$P_{mb} = U_m I'_m - \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (H'_{ml} I'_m + H''_{ml} I''_m) U_l + \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (I'_m K'_{ml} + I''_m K''_{ml}),$$

$$Q_{mb} = -U_m I''_m - \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (H''_{ml} I'_m - H'_{ml} I''_m) U_l + \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (I'_m K''_{ml} - I''_m K'_{ml}),$$

где $K'_{ml} = (H'_{ml} U'_l - H''_{ml} U''_l)$, $K''_{ml} = (H'_{ml} U''_l + H''_{ml} U'_l)$.

Аналогично для (12) получаем

$$P_k = P_{kb} + \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} [g_{kl} (U'_k U'_l + U''_k U''_l) + b_{kl} (U''_k U'_l - U'_k U''_l)], \quad (15)$$

$$Q_k = Q_{kb} + \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} [g_{kl} (U''_k U'_l - U'_k U''_l) - b_{kl} (U'_k U'_l + U''_k U''_l)], \quad (16)$$

где

$$P_{kb} = - \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_k - b_{kl} U''_k) + \sum_{n=1}^{\Gamma} (U'_k L'_{kn} + U''_k L''_{kn}),$$

$$Q_{kb} = \sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (b_{kl} U'_k + g_{kl} U''_k) U_l + \sum_{n=1}^{\Gamma} (U'_k L'_{kn} - U''_k L''_{kn}).$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$L'_{k,n} = H'_{k,n} I'_n - H''_{k,n} I''_n, \quad L''_{k,n} = H'_{k,n} I''_n + H''_{k,n} I'_n.$$

В результате получены две системы нелинейных алгебраических уравнений (13), (14) и (15), (16), которые необходимо решить итерационным методом Ньютона-Рафсона. Для этого целесообразно эти системы представить в следующем виде:

$$\begin{cases} F_{pm}(I'_m, I''_m) = P_m - [P_{mi} + f_{pm}(I'_m, I''_m)] = 0, \\ F_{qm}(I'_m, I''_m) = Q_m - [Q_{mi} + f_{qm}(I'_m, I''_m)] = 0, \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} F_{pk}(U'_k, U''_k) = P_k - [P_{ki} + f_{pk}(U'_k, U''_k)] = 0, \\ F_{qk}(U'_k, U''_k) = Q_k - [Q_{ki} + f_{qk}(U'_k, U''_k)] = 0. \end{cases} \quad (18)$$

В (17) и (18) приняты следующие обозначения:

$$\begin{cases} f_{pm}(I'_m, I''_m) = \sum_{n=1}^{\Gamma} [R_{mn}(I'_m I'_n + I''_m I''_n) + x_{mn}(I'_m I''_n - I''_m I'_n)], \\ f_{qm}(I'_m, I''_m) = \sum_{n=1}^{\Gamma} [R_{mn}(I'_m I''_n + I''_m I'_n) + x_{mn}(I'_m I'_n + I''_m I''_n)], \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} f_{pk}(U'_k, U''_k) = \sum_{i=1}^{\Gamma+1} [g_{ki}(U'_k U'_i + U''_k U''_i) + b_{ki}(U'_k U'_i - U''_k U''_i)], \\ f_{qk}(U'_k, U''_k) = \sum_{i=1}^{\Gamma+1} [g_{ki}(U'_k U''_i - U''_k U'_i) + b_{ki}(U'_k U'_i + U''_k U''_i)], \end{cases} \quad (20)$$

Более компактно системы уравнений (17) и (18) можно представить в виде

$$\begin{cases} F_{pm}(I'_m, I''_m) = 0, & F_{pk}(U'_k, U''_k) = 0, \\ F_{qm}(I'_m, I''_m) = 0, & F_{qk}(U'_k, U''_k) = 0. \end{cases} \quad (21)$$

Задача заключается в совместном решении систем уравнений (21), которые взаимно связаны, и это скрыто в выражениях $P_{mi}, Q_{mi}, P_{ki}, Q_{ki}$. Пользуясь этим обстоятельством, необходимо решить указанные два типа систем уравнений на основе метода Ньютона-Рафсона.

Рекуррентные выражения для решения систем уравнений (21), вытекающие из метода Ньютона-Рафсона, имеют вид

$$\begin{bmatrix} I'_m \\ I''_m \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} I'_m \\ I''_m \end{bmatrix}^i \left[\frac{\partial F_{pm}/\partial I'_m}{\partial F_{pm}/\partial I'_m} \quad \frac{\partial F_{pm}/\partial I''_m}{\partial F_{qm}/\partial I''_m} \right]^{-1} \times \begin{bmatrix} F_{pm} \\ F_{qm} \end{bmatrix}^i, \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} U'_k \\ U''_k \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} U'_k \\ U''_k \end{bmatrix}^i \left[\frac{\partial F_{pk}/\partial U'_k}{\partial F_{pk}/\partial U'_k} \quad \frac{\partial F_{pk}/\partial U''_k}{\partial F_{qk}/\partial U''_k} \right]^{-1} \times \begin{bmatrix} F_{pk} \\ F_{qk} \end{bmatrix}^i, \quad (23)$$

где i — номер итерации.

Частные производные, входящие в якобианы рекуррентных выражений (22) и (23), определяются на основании вышесказанных систем уравнений. Частные производные, входящие в матрицу Якоби выражения (22), определяются:

- при одинаковых индексах, т.е. когда

$$\partial F_{mn} / \partial I'_m = - \left[\partial P_{mn} / \partial I'_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n - x_{mn} I''_n) \right] \quad (24)$$

$$\partial F_{mn} / \partial I''_m = - \left[\partial P_{mn} / \partial I''_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I''_n - x_{mn} I'_n) \right] \quad (25)$$

$$\partial F_{qm} / \partial I'_m = - \left[\partial Q_{qm} / \partial I'_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n + x_{mn} I'_n) \right] \quad (26)$$

$$\partial F_{qm} / \partial I''_m = - \left[\partial Q_{qm} / \partial I''_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n - x_{mn} I''_n) \right] \quad (27)$$

- при разных индексах, т.е. когда $n \neq m$:

$$\partial F_{mn} / \partial I'_n = -(R_{mn} I'_m + x_{mn} I''_m) \quad (28)$$

$$\partial F_{mn} / \partial I''_n = -(R_{mn} I''_m - x_{mn} I'_m) \quad (29)$$

$$\partial F_{qm} / \partial I'_n = -(R_{mn} I''_m + x_{mn} I'_m) \quad (30)$$

$$\partial F_{qm} / \partial I''_n = -(R_{mn} I'_m - x_{mn} I''_m) \quad (31)$$

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения (23), определяются с помощью приведенных выражений:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $i = k$:

$$\partial F_{ik} / \partial U'_i = - \left[\partial P_{ik} / \partial U'_i + \sum_{l=1}^{\Gamma-H} (g_{il} U'_l - b_{il} U''_l) \right] \quad (32)$$

$$\partial F_{ik} / \partial U''_i = - \left[\partial P_{ik} / \partial U''_i + \sum_{l=1}^{\Gamma-H} (g_{il} U''_l + b_{il} U'_l) \right] \quad (33)$$

$$\partial F_{ik} / \partial U'_i = - \left[\partial Q_{ik} / \partial U'_i + \sum_{l=1}^{\Gamma-H} (-g_{il} U'_l - b_{il} U'_l) \right] \quad (34)$$

$$\partial F_{ik} / \partial U''_i = - \left[\partial Q_{ik} / \partial U''_i + \sum_{l=1}^{\Gamma-H} (g_{il} U'_l - b_{il} U''_l) \right] \quad (35)$$

- при разных индексах, т.е. когда $i \neq k$:

$$\partial F_{ik} / \partial U'_i = -(g_{ik} U'_k + b_{ik} U''_k) \quad (36)$$

$$\partial F_{ik} / \partial U''_i = -(g_{ik} U''_k - b_{ik} U'_k) \quad (37)$$

$$\partial F_{ik} / \partial U'_i = -(g_{ik} U'_k - b_{ik} U'_k) \quad (38)$$

$$\partial F_{ik} / \partial U''_i = -(g_{ik} U'_k + b_{ik} U''_k) \quad (39)$$

Имея аналитические выражения частных производных, входящих в матрицу Якоби рекуррентных выражений (22) и (23), можно решить практические задачи

Количественное и качественное исследования показали, что при изменении режимов величины P_{mn} , Q_{qm} и также P_{ik} и Q_{ik} изменяются незначительно. В силу этого можем написать, что

$$\partial P_{mn} / \partial I'_m = \partial P_{mn} / \partial I''_m = 0, \quad \partial Q_{qm} / \partial I'_m = \partial Q_{qm} / \partial I''_m = 0$$

При этом выражения (24) - (27) и (32) - (35) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned}\partial F_{pm} / \partial I'_m &= - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n - x_{mn} I''_n) \right], \quad \partial F_{pm} / \partial I''_m = - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n + x_{mn} I''_n) \right], \\ \partial F_{qm} / \partial I'_m &= - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n + x_{mn} I''_n) \right], \quad \partial F_{qm} / \partial I''_m = - \left[\sum_{n=1}^{\Gamma} (R_{mn} I'_n - x_{mn} I''_n) \right], \\ \partial F_{pk} / \partial U'_k &= - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l - b_{kl} U''_l) \right], \quad \partial F_{pk} / \partial U''_k = - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l - b_{kl} U''_l) \right], \\ \partial F_{qk} / \partial U'_k &= - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l + b_{kl} U''_l) \right], \quad \partial F_{qk} / \partial U''_k = - \left[\sum_{l=\Gamma+1}^{\Gamma+H} (g_{kl} U'_l + b_{kl} U''_l) \right].\end{aligned}$$

Данное обстоятельство обеспечивает уменьшение большого объема вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима // Электричество. - 1991. - № 1. - С. 6-13.
2. Хачатрян В.С. Об одном методе решения системы нелинейных алгебраических уравнений специальной структуры большой размерности // ЖВММФ АН СССР. - 1979. - № 1. - С. 7-18.

ГИУА

10 - 1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 1, 1996, с. 11-16

УДК 621.311.1.601.24

ЭНЕРГЕТИКА

Г.А. БАДАЛЯН

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Z-МАТРИЦЫ ОБОБЩЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Առաջարկվում է նոր քայլային մեթոդ Z ընդհանրացված պարամետրերի մատրիցի կառուցման համար, որը Y-ընդհանրացված պարամետրերի մատրիցի շրջման անուղղակի մեթոդ է հիմնված էլեկտրական համակարգերի առանձնահատկությունների վրա:

Предлагается новый поэтапный метод построения обобщенных параметров электрических систем, который является косвенным методом обращения Y-матрицы обобщенных параметров электрических систем и основывается на их индивидуальных свойствах.

Табл. 4. Библиогр.: 3 назв.

A new stage-by-stage method of Z-generated electrical systems parameter construction is proposed which is an indirect method of Y-generated electrical systems parameter conversion and is based on their individual properties.

Tables 4. Ref. 3.

С математической точки зрения, определение Z-матрицы обобщенных параметров электрических систем сводится к обращению неособенной квадратной γ -матрицы обобщенных параметров, которая составляется непосредственно по заданной конфигурации схемы. Определение Z-обобщенных параметров классическим методом обращения γ -матрицы связано с весьма большими затруднениями. Поэтому работы велись по направлению определения Z-обобщенных параметров не классическими методами, а методами, вытекающими из индивидуальных и характерных особенностей электрических систем [1-3].

Настоящая работа посвящена определению Z-обобщенных параметров путем использования свойств электрических систем. Предположим, что задана электрическая система, состоящая из $(M+1)$ узловых точек, и после выбора одного из станционных узлов в качестве базисного она будет состоять из M независимых узлов. При этом для определения Z-матрицы обобщенных параметров необходимо обратить γ -матрицу порядка M. Предложенный подход определения Z-матрицы осуществляется методом окаймления матрицы, т.е. методом постепенного восстановления конфигурации исходной системы. Предложенный метод продемонстрируем на конкретной электрической системе, конфигурация которой задается в виде табл. 1. Рассмотрим одно из возможных неполных деревьев, конфигурация которого представлена с помощью табл. 2.

Таблица 1

ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	2-1	22,8	90,0
0-7	12,2	73,4	1-6	2,0	12,6
3-2	2,7	16,2	6-5	4,2	27,0
3-4	2,2	12,0	5-7	2,6	17,0
4-5	6,6	40,0			

Таблица 2

ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	4-5	6,6	40,0
3-4	2,2	12,0	5-7	2,6	17,0

Для данной конфигурации (табл. 2) Z-матрица имеет следующие численные элементы:

	3	4	5	7	
3	9,5+j 62,4	9,5+j 62,4	9,5+j 62,4	9,5+j 62,4	(1)
4	9,5+j 62,4	11,7+j 74,4	11,7+j 74,4	11,7+j 74,4	
5	9,5+j 62,4	11,7+j 74,4	18,3+j 114,4	18,3+j 114,4	
7	9,5+j 62,4	11,7+j 74,4	18,3+j 114,4	20,9+j 131,4	

Если соединить ветвь 0-7, то получим первый замкнутый контур. Для выполнения данной операции воспользуемся следующей формулой, полученной в [1]:

$$Z_{ij}^{\Pi} = \frac{(Z_{iA} - Z_{iB})(-Z_{A\Gamma} + Z_{B\Gamma})}{Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{AA} + Z_{\Pi\Pi} - 2Z_{AB}} \quad (2)$$

Здесь $Z_{\Gamma\Pi}^{\Pi}$ — комплексное сопротивление подключенной линии электропередач между узлами А и В; Z_{AA} , $Z_{\Pi\Pi}$, $Z_{A\Pi}$ — собственное и взаимное комплексные сопротивления узлов А и В; Z_{iA} , Z_{iB} , $Z_{A\Gamma}$, $Z_{B\Gamma}$ — взаимные комплексные сопротивления между узлами i, j и узлами А и В, между которыми подключается удаленная линия.

Поскольку в данном случае $Z_{\Gamma\Pi}^{\Pi}$ подключается между базисным (нулевым) и 7-ым узлами, то можем написать, что $A = A$, $B = 0$, и формула (2) примет вид

$$Z_{ij}^{\Pi} = \frac{(Z_{iA} - Z_{i0})(-Z_{A\Gamma} + Z_{0\Gamma})}{Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{AA} + Z_{00} - 2Z_{A0}} \quad (3)$$

Поскольку $Z_{i0} = Z_{0i} = 0$, $Z_{00} = 0$, $Z_{A0} = 0$, то (3) упрощается:

$$Z_{ij}^{\Pi} = -Z_{iA}Z_{A\Gamma} / (Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{AA}). \quad (4)$$

Матрица, вытекающая из (4) применительно к схеме, приведенной в виде табл. 2, принимает следующий вид:

	3	4	5	7	
3	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{33}Z_{77})$	(5)
4	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{43}Z_{77})$	
5	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{53}Z_{77})$	
7	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{77})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{74})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{75})$	$-\frac{1}{\Delta}(Z_{73}Z_{77})$	

где $\Delta = Z_{\Gamma\Gamma\Pi}^{\Pi} + Z_{77} = 12,2 + j73,4 + 20,9 + j131,4 = 33,1 + j204,8$. Матрица (5) с численными элементами будет:

	3	4	5	7	
3	$-2,7 - j 19,0$	$-3,4 - j 22,6$	$-5,2 - j 34,8$	$-5,9 - j 40,0$	(6)
4	$-3,4 - j 22,6$	$-4,0 - j 27,0$	$-6,5 - j 41,5$	$-7,4 - j 47,7$	
5	$-5,2 - j 34,8$	$-6,5 - j 41,5$	$-10,1 - j 63,9$	$-11,6 - j 73,4$	
7	$-5,9 - j 40,0$	$-7,4 - j 47,7$	$-11,6 - j 73,4$	$-13,2 - j 84,3$	

Алгебраическая сумма элементов матриц (1) и (6) дает Z-матрицу замкнутого контура:

	3	4	5	7	
3	$6,8 + j 43,4$	$6,2 + j 39,8$	$4,3 + j 27,6$	$3,6 + j 22,4$	(7)
4	$6,2 + j 39,8$	$7,6 + j 47,4$	$5,2 + j 32,9$	$4,3 + j 26,7$	
5	$4,3 + j 27,6$	$5,2 + j 32,9$	$8,2 + j 50,5$	$6,8 + j 41,0$	
7	$3,6 + j 22,4$	$4,3 + j 26,7$	$6,8 + j 41,0$	$7,7 + j 47,1$	

приведенную в виде табл. 3:

Таблица 3					
ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	4-5	6,6	40,0
0-7	12,2	73,4	5-7	2,6	17,0
3-4	2,2	12,0			

Матрица (7) симметрична, а ее элементы только положительны. Осуществляем дальнейшее восстановление исходной системы. Полученная структура при этом представлена в виде табл. 4:

Таблица 4					
ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-3	9,5	62,4	5-7	2,6	17,0
0-7	12,2	73,4	5-6	4,2	27,0
3-4	2,2	12,0	6-1	2,0	12,6
4-5	6,6	40,0	3-2	2,7	16,2

Соответствующая Z-матрица полученной конфигурации по табл. 4 будет (8).

Для полного восстановления исходной электрической системы необходимо еще подключить линию $Z_{\text{ЛЭП}}^{-1} = Z_{\text{ЛЭП}}^{-1} = 22,8 + j90,0$. В результате получается второй замкнутый контур, и для установления численных значений новой дополнительной матрицы необходимо воспользоваться выражением (2). Устанавливая численные значения новой дополнительной матрицы и алгебраически просуммировав с соответствующими элементами матрицы (8), получим элементы искомой матрицы, которые представлены в виде матрицы (9).

	3	4	5	7	6	2	1
3	6,8+ +j 43,4	6,2+ +j 39,8	4,3+ +j 27,6	3,6+ +j 22,4	4,3+ +j 27,6	6,8+ +j 43,4	4,3+ +j 27,6
4	6,2+ +j 39,8	7,6+ +j 47,4	5,2+ +j 32,9	4,3+ +j 26,7	5,2+ +j 32,9	6,2+ +j 39,8	5,2+ +j 32,9
5	4,3+ +j 27,6	5,2+ +j 32,9	8,2+ +j 50,5	6,8+ +j 41,0	8,2+ +j 50,5	4,3+ +j 27,6	8,2+ +j 50,5
7	3,6+ +j 22,4	4,3+ +j 26,7	6,8+ +j 41,0	7,7+ +j 47,1	6,8+ +j 41,0	3,6+ +j 22,4	6,8+ +j 41,0
6	4,3+ +j 27,6	5,2+ +j 32,9	8,2+ +j 50,5	6,8+ +j 41,0	12,4+ +j 77,5	4,3+ +j 27,6	12,4+ +j 77,5
2	6,8+ +j 43,4	6,2+ +j 39,8	4,3+ +j 27,6	3,6+ +j 22,4	4,3+ +j 27,6	9,5+ +j 59,6	4,3+ +j 27,6
1	4,3+ +j 27,6	5,2+ +j 32,9	8,2+ +j 50,5	6,8+ +j 41,0	12,4+ +j 77,5	4,3+ +j 27,6	14,4+ +j 89,1

(8)

	1	2	3	4	5	6	7
1	11,9+ +j 68,9	5,6+ +j 38,4	4,9+ +j 32,9	5,5+ +j 85,2	7,2+ +j 42,7	10,4+ +j 60,6	5,9+ +j 34,7
2	5,6+ +j 38,4	8,9+ +j 54,0	6,5+ +j 40,6	6,1+ +j 38,5	4,8+ +j 31,5	5,3+ +j 36,2	3,9+ +j 25,6
3	4,9+ +j 32,9	6,5+ +j 40,6	6,7+ +j 42,0	6,1+ +j 39,1	4,5+ +j 29,5	4,8+ +j 31,8	3,7+ +j 24,0
4	5,5+ +j 35,2	6,1+ +j 38,6	6,1+ +j 39,1	7,6+ +j 47,1	5,3+ +j 33,7	5,4+ +j 34,7	4,4+ +j 27,4
5	7,2+ +j 42,7	4,8+ +j 31,5	4,5+ +j 29,8	5,3+ +j 33,7	7,8+ +j 47,7	7,4+ +j 44,3	6,4+ +j 38,7
6	10,4+ +j 60,6	5,3+ +j 36,2	4,8+ +j 31,8	5,4+ +j 34,7	7,4+ +j 44,3	10,8+ +j 64,0	6,1+ +j 36,0
7	5,9+ +j 34,7	3,9+ +j 25,6	3,7+ +j 24,0	4,4+ +j 27,4	6,4+ +j 38,7	6,1+ +j 36,0	7,4+ +j 45,2

(9)

В данном случае для восстановления конфигурации исходной системы были подсчитаны две дополнительные матрицы, поскольку система состояла из двух замкнутых контуров. Однако для восстановления исходной конфигурации исследуемой системы можно получить одну дополнительную матрицу, если воспользоваться следующим выражением [3]

$$Z_{ij}^A = \frac{1}{\Delta} \{ (Z_{iA} - Z_{iB}) [\Delta_{CB} (-Z_{A_1} + Z_{B_1}) + \Delta_{ABCB} (-Z_{iA} + Z_{iB})] + (Z_{iB} - Z_{iA}) [\Delta_{ABCB} (-Z_{A_1} + Z_{B_1}) - \Delta_{AB} (-Z_{iA} + Z_{iB})] \} \quad (10)$$

$$\Delta_{AB} = Z_{ЛЭП}^{AB} + Z_{AA} + Z_{BB} - 2Z_{AB}, \quad (11)$$

$$\Delta_{CD} = Z_{ЛЭП}^{CD} + Z_{CC} + Z_{DD} - 2Z_{CD}, \quad (12)$$

$$\Delta_{ABCD} = Z_{BC} + Z_{AD} - Z_{BD} - Z_{AC}, \quad (13)$$

$$\Delta = \Delta_{AB}\Delta_{CD} - \Delta_{ABCD}^2, \quad (14)$$

где $Z_{ЛЭП}^{AB}$, $Z_{ЛЭП}^{CD}$ — комплексные сопротивления линии, подключаемые к системе между узлами А, В и С, D соответственно.

Для исследуемой электрической системы выражения (10)-(14) принимают следующий вид:

$$Z_{ii}^{\pi} = -\frac{1}{\Delta} \left\{ Z_{12} [\Delta_{12} Z_{21} + \Delta_{7012} (Z_{11} - Z_{21})] + \right. \quad (15)$$

$$\left. + (Z_{11} - Z_{12}) [\Delta_{7012} Z_{21} + Z_{70} (Z_{11} - Z_{12})] \right\},$$

$$\Delta_{70} = Z_{7011}^{70} + Z_{77}, \quad (16)$$

$$\Delta_{12} = Z_{1211}^{12} + Z_{11} + Z_{12} - 2Z_{12}, \quad (17)$$

$$\Delta_{7012} = Z_{72} - Z_{71}, \quad (18)$$

$$\Delta = \Delta_{70}\Delta_{12} - \Delta_{7012}^2. \quad (19)$$

Таким образом, построение Z-матрицы существующим классическим методом не оправдывается, поэтому необходимо пользоваться не классическими методами, а методами, которые вытекают из их индивидуальных свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С. К вопросу об определении собственных и взаимных сопротивлений энергосистемы относительно базисного узла при изменении конфигурации сети // Электричество. - 1964. - № 4. - С. 27-30.
2. Хачатрян В.С. К методам расчета собственных и взаимных сопротивлений сложной энергосистемы // Электричество. - 1964. - № 10. - С. 47-51.
3. Хачатрян В.С. Метод перерасчета узловых сопротивлений при изменении схемной схемы замещения // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1966. - № 2. - С. 71-76.

ГИУА

12.01.1995

В.П. АРАКЕЛЯН, К.В. ХАЧАТРЯН, М.Б. АЛЬ-ДАРВИШ

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Առաջարկվում է մեթոդ և նոր հաշվողական ալգորիթմ էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հաշվարկի համար: Մեթոդը գոյություն ունեցողների համեմատ նվազեցնում է հաշվողական աշխատանքների ծավալը (15-20)%: Առաջարկված մեթոդը կարելի է կիրառել նախագծային բնույթ կրող խնդիրներ լուծելիս:

Предлагается метод и новый вычислительный алгоритм для решения задачи расчета установившихся режимов электроэнергетической системы. Метод обеспечивает уменьшение объема вычислительных работ на (15-20)% относительно существующих. Метод можно использовать при решении задач, имеющих характер проектирования.

Табл. 2. Библиогр. 2 назв.

A method and a new computational algorithm for problem solving of steady-state conditions for an electrical power system are proposed. This method secures the decrease of computational work volume for 15-20 per cent in comparison with the existing ones. It can be used for problem solving having designing character.

Tables 2. Ref. 2.

Рассматривается вопрос расчета установившегося режима электроэнергетической системы при Z-форме задания состояния сети [1, 2]. Как известно, уравнение установившегося режима электроэнергетической системы при Z-форме задания состояния сети записывается в следующем виде:

$$U_i = U_B + Z_{ij} I_j, \quad (1)$$

где U_B — напряжение базисного узла; U_i , I_j — многомерные векторы узловых комплексных напряжений и токов независимых узлов; Z_{ij} — собственные и взаимные комплексные сопротивления между независимыми узлами.

Если рассматриваемая электроэнергетическая система состоит из $(M+1)$ узловых точек и первый узел с индексом B является базисным, то матричное уравнение (1) в алгебраической форме можно представить в виде

$$U_i = U_B + \sum_{j=1}^M Z_{ij} I_j, \quad i=1, M. \quad (2)$$

В дальнейшем принимаем, что в базисном узле задается действительное напряжение, т.е. $U_B = U_B$.



Комплексный ток $\dot{I}_i$, выраженный через активную и реактивную мощности узла, имеет вид

$$\dot{I}_i = (P_i - jQ_i) / \dot{U}_i, \quad (3)$$

или

$$\dot{I}_i = \dot{U}_i (P_i - jQ_i) / U_i^2. \quad (4)$$

Совместно решая (2) и (4), получаем

$$\dot{U}_i = U_B + \sum_{j=1}^M Z_{ij} \dot{U}_j (P_j - jQ_j) / U_j^2 \quad (5)$$

или

$$\dot{U}_i = \sum_{j=1}^M Z_{ij} \dot{U}_j (P_j - jQ_j) / U_j^2. \quad (6)$$

Полученное уравнение (6) представим в развернутой форме:

$$\begin{cases} \left(1 - Z_{i1} \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^2}\right) \dot{U}_1 + \left(-Z_{i2} \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^2}\right) \dot{U}_2 + \dots + \left(-Z_{iM} \frac{P_M - jQ_M}{U_M^2}\right) \dot{U}_M = U_B, \\ \left(-Z_{21} \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^2}\right) \dot{U}_1 + \left(1 - Z_{22} \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^2}\right) \dot{U}_2 + \dots + \left(-Z_{2M} \frac{P_M - jQ_M}{U_M^2}\right) \dot{U}_M = U_B, \\ \vdots \\ \left(-Z_{M1} \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^2}\right) \dot{U}_1 + \left(-Z_{M2} \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^2}\right) \dot{U}_2 + \dots + \left(1 - Z_{MM} \frac{P_M - jQ_M}{U_M^2}\right) \dot{U}_M = U_B. \end{cases} \quad (7)$$

Введем следующие обозначения:

$$A_{ij} = 1 - Z_{ij} (P_j - jQ_j) / U_j^2, \quad A_{ij} = -Z_{ij} (P_j - jQ_j) / U_j^2. \quad (8)$$

При этом система уравнений (7) принимает вид

$$\begin{cases} A_{11} \dot{U}_1 + A_{12} \dot{U}_2 + \dots + A_{1M} \dot{U}_M = U_B, \\ A_{21} \dot{U}_1 + A_{22} \dot{U}_2 + \dots + A_{2M} \dot{U}_M = U_B, \\ \vdots \\ A_{M1} \dot{U}_1 + A_{M2} \dot{U}_2 + \dots + A_{MM} \dot{U}_M = U_B. \end{cases} \quad (9)$$

Полученная система (9) состоит из M нелинейных алгебраических уравнений с переменными коэффициентами и искомыми комплексными напряжениями $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_M$.

Решение полученной системы уравнений (9) рассматривается для случая, когда, кроме базисного, остальные стационарные узлы являются узлами типа $P-Q$, т.е. узлами, относительно которых задаются комплексные мощности, и необходимо определить узловые комплексные напряжения.

Поскольку система уравнений (9) является нелинейной, то ее необходимо решить итерационным путем. Представим ее в матричной записи:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1M} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{M1} & A_{M2} & \dots & A_{MM} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \vdots \\ \dot{U}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_B \\ \vdots \\ \dot{U}_B \end{bmatrix} \quad (10)$$

или в векторно-матричной форме:

$$A\dot{U} = U_B \quad (11)$$

Из комплексных величин переходим к действительным выражениям:

$$[\operatorname{Re}(\dot{A}) + j\operatorname{Im}(\dot{A})] \times [\operatorname{Re}(\dot{U}) + j\operatorname{Im}(\dot{U})] = U_B + j0 \quad (12)$$

или

$$(A' + jA'')(\dot{U}' + j\dot{U}'') = U_B + j0 \quad (13)$$

откуда

$$A'\dot{U}' - A''\dot{U}'' = U_B, \quad A'\dot{U}'' + A''\dot{U}' = U_B \quad (14)$$

Представим систему (14) в блочно-матричной форме

$$\begin{bmatrix} A' & -A'' \\ A'' & A' \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}' \\ \dot{U}'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

На основании матричного уравнения (15) можно определить неизвестные составляющие $\dot{U}'$ и $\dot{U}''$ комплексных напряжений:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}' \\ \dot{U}'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & -A'' \\ A'' & A' \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} U_B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Введем следующие обозначения: $A_{11} = A'$, $A_{12} = -A''$, $A_{21} = A''$ и $A_{22} = A'$. При этом матричное уравнение (16) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \dot{U}' \\ \dot{U}'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} U_B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Предположим, что после обращения неособенной квадратной матрицы, входящей в (17), получим

$$\begin{bmatrix} \dot{U}' \\ \dot{U}'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

тогда

$$B_{11} = A_{11}^{-1} - A_{11}^{-1}A_{12}B_{21}, \quad B_{12} = A_{11}^{-1}A_{12}B_{22},$$

$$B_{21} = -B_{22}A_{21}A_{11}^{-1}, \quad B_{22} = (A_{22} - A_{21}A_{11}^{-1}A_{12})^{-1}$$

Из матричного выражения (18) можем написать

$$\dot{U}' = B_{11}U_B + B_{12}0, \quad \dot{U}'' = B_{21}U_B + B_{22}0 \quad (19)$$

или

$$\dot{U}' = B_{11}U_B, \quad \dot{U}'' = B_{21}U_B \quad (20)$$

откуда

$$\dot{U}' = (A_{11}^{-1} - A_{11}^{-1}A_{12}B_{21})U_B, \quad \dot{U}'' = -B_{22}A_{21}A_{11}^{-1}U_B \quad (21)$$

Представим выражения (21) в следующем виде

$$\dot{U}' = \dot{U}'_1 + \dot{U}'_2, \quad \dot{U}'_1 = A_{11}^{-1}U_B, \quad (22)$$

где

$$U'_2 = A_{11}^{-1} A_{12} [(A_{22} - A_{21} A_{11}^{-1} A_{12})^{-1} A_{21} A_{11}^{-1}] U_B, \quad (23)$$

$$U'' = -[(A_{22} - A_{21} A_{11}^{-1} A_{12})^{-1} A_{21} A_{11}^{-1}] U_B. \quad (24)$$

Если принять обозначения

$$A = [(A_{22} - A_{21} A_{11}^{-1} A_{12})^{-1} A_{21} A_{11}^{-1}], \quad (25)$$

то выражения (23) и (24) принимают следующий вид:

$$U'_2 = (A_{11}^{-1} A_{12} A) U_B, \quad U'' = -A U_B. \quad (26)$$

Пользуясь обозначениями блоков в матричном уравнении (16), получим

$$A = [A' + A''(A')^{-1}(A'')]^{-1} A''(A')^{-1}. \quad (27)$$

При этом выражения (22) и (23) имеют вид

$$U'_1 = (A')^{-1} U_B, \quad U'_2 = [(A')^{-1} A'' A] U_B. \quad (28)$$

Устанавливая численные значения комплексных напряжений независимых стационарных и нагрузочных узлов, можно определить соответствующие комплексные напряжения:

$$\dot{U}_i = \text{Re}(\dot{U}_i) + jJ_m(\dot{U}_i).$$

Имея комплексные напряжения независимых стационарных и нагрузочных узлов, а также заданное действительное напряжение базисного стационарного узла, можно определить комплексные токи во всех ветвях, пользуясь известными выражениями.

При численной реализации задач весьма важным вопросом является установление весомости отдельных слагаемых, входящих в выражения (22) и (26). Разумеется, что весомость указанных отдельных слагаемых можно установить только при численной реализации множества примеров по расчету установившихся режимов. Поэтому переходим к вычислительному исследованию по расчету установившихся режимов ЭЭС.

Рассматривается ЭЭС, состоящая из трех независимых узлов (табл. 1)

Таблица 1					
ЛЭП	R	x	ЛЭП	R	x
0-1	28,2	76,6	1-2	9,2	21,0
0-2	28,2	88,6	1-3	9,7	26,1
0-3	12,5	27,0	2-3	10,0	20,0

Для данной системы Z-матрица узловых сопротивлений имеет следующие численные элементы:

	1	2	3
1	9,3+j 23,4	6,6+j 16,6	5,7+j 13,8
2	6,6+j 16,6	9,5+j 23,0	5,7+j 14,0
3	5,7+j 13,8	5,7+j 14,0	7,7+j 18,8

Исходная информация относительных узлов задана в табл. 2.

Таблица 2

Узлы	Режимные параметры			
	P, МВт	Q, Мвар	U, кВ	Ψ_u , град
0	-	-	220	0
1	161,3	80,7	-	-
2	202,5	101,2	-	-
3	431,7	215,8	-	-

Матричное уравнение типа (7) для рассматриваемой ЭЭС имеет вид

$$\begin{bmatrix} 1 - Z_{11} \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^2} & -Z_{12} \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^2} & -Z_{13} \frac{P_3 - jQ_3}{U_3^2} \\ -Z_{21} \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^2} & 1 - Z_{22} \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^2} & -Z_{23} \frac{P_3 - jQ_3}{U_3^2} \\ -Z_{31} \frac{P_1 - jQ_1}{U_1^2} & -Z_{32} \frac{P_2 - jQ_2}{U_2^2} & 1 - Z_{33} \frac{P_3 - jQ_3}{U_3^2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_B \\ U_B \\ U_B \end{bmatrix} \quad (29)$$

Принимая $U_1 = U_2 = U_3 = 220$, матричное уравнение (29) можно представить с численными элементами:

$$\begin{bmatrix} 0,9295 + j0,0614 & -0,0623 - j0,0559 & 0,1126 + j0,0969 \\ -0,0498 - j0,0436 & 0,9119 + j0,0768 & 0,1149 + j0,1011 \\ -0,0422 - j0,0357 & -0,0538 - j0,0478 & 1,1485 + j0,1246 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 220 \\ 220 \\ 220 \end{bmatrix} \quad (30)$$

Из матричного уравнения (30) находим A' , A'' , а затем $(A')^{-1}$. Пользуясь выражением (28), определяем составляющие комплексных напряжений U'_i , а также $[A' + A''(A')^{-1}A'']$. После этого определяем численные значения элементов матрицы A :

$$A = \begin{bmatrix} 0,0609 & -0,0607 & 0,0856 \\ -0,0439 & 0,0761 & 0,0851 \\ -0,0465 & -0,0456 & 0,1362 \end{bmatrix}$$

После установления численных значений элементов матрицы A можем определить $(A')^{-1}A''A$, при этом элементы матрицы U' определяются на основании (19). В результате имеем

$$U' = \begin{bmatrix} 0,9020 \\ 2,4420 \\ -0,4620 \end{bmatrix}$$

На основании (22) можем написать.

$$U' = U'_1 + U'_2 = \begin{bmatrix} 226.45 \\ 227.23 \\ 210.52 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.9020 \\ 2.4420 \\ -0.4620 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 227.35 \\ 229.67 \\ 210.06 \end{bmatrix}$$

Коэффициенты при мнимой части имеют следующие численные значения:

$$U'' = -AU = \begin{bmatrix} 0.0609 & -0.0607 & 0.0856 \\ -0.0439 & 0.0761 & 0.0851 \\ -0.0465 & -0.0456 & 0.1362 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 220 \\ 220 \\ 220 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -18.8760 \\ -25.8060 \\ -9.7020 \end{bmatrix}$$

После осуществления первой итерации искоемые узловые комплексные напряжения принимают следующие численные значения:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 227.35 - j 18.8760 \\ 229.67 - j 25.8060 \\ 210.06 - j 9.7020 \end{bmatrix}$$

После осуществления четырех итераций получим окончательные численные значения узловых комплексных напряжений:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 221.1 + j 7.7129 \\ 221.4 + j 3.8745 \\ 204.5 - j 10.6953 \end{bmatrix}$$

Аналогичное исследование было осуществлено и для системы, состоящей из девяти независимых узлов. Было установлено, что при определении U' составляющее U'_2 не характеризует его величину и в последующих итерациях его элементы уменьшаются по величине.

Установлено также, что величина $[A' + A''(A')^{-1}(A'')]^{-1}$ остается почти неизменной при организации итерационного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С. К методам расчета рабочих режимов электрических сетей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1967. - № 2. - С. 37-41.
2. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Аракелян В.П. Упрощенный метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Электричество. - 1992. - № 2. - С. 9-14.

М.А. АРАМЯН

РАСЧЕТ УСРЕДНЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРЕМЫ ГРИНА

Արտահայտելով մեկուսիչ մարմնի էներգիան իր դիպոլային մոմենտով և կիրառելով վերջինիս քննրոշումը, կապ է հաստատվել ներառման դիպոլային մոմենտի և նրա շեռագցված լիցքերի միջև: Կիրառելով Գրինի թեորեմը, կապ է գտնվել ներառման մակերևույթի վրայի պոտենցիալի և միջավայրի պարամետրերի միջև: Նույնատիպ հաշվարկներ կատարվել են նաև մոդելի համար: Իրական համակարգի և մոդելի ծավալների մերսի տրված կետերի պոտենցիալների համասարուրյան պայմանից հնարավոր է եղել հաշվել դիսպերս համակարգի դիէկտորիկական քափանցելիության միջին արժեքը:

Выражая энергию диэлектрического тела через ее дипольный момент и используя определение последнего, выявлена связь между дипольным моментом включений и их поляризованными зарядами. На основании теоремы Грина получена связь между потенциалом на поверхности включения и параметрами среды. Аналогичные вычисления произведены и для модели. Из условия равенства потенциалов заданных точек внутри объема на модели и реальной среды удается вычислить среднее значение проницаемости дисперсной системы.

Библнотр.: 8 назв.

Expressing the dielectric body energy through its dipole moment and using the characteristics of the moment a connection between dipole moment of inclusions and their polarized charges has been revealed. The connection between the potential on the surface of the inclusions and parameters of the medium has been obtained on the basis of Green's theorem. Analogous calculations have been produced for the model as well. From the condition of the potential equation for given points inside the volume of the model and real medium it became possible to calculate the average value of the dispersion system permeability.

Ref. 8.

Известно, что неоднородные системы имеют широкое применение в разных областях, поэтому важными задачами являются расчет потенциальных полей в таких средах и вычисление их усредненных параметров [1-3]. Из-за сложности структуры этих систем указанные задачи решены приближенными методами, в связи с этим появляются новые исследования в этой области [4-6].

В данной статье поставлена новая задача - рассчитать поля и вычислить эффективные параметры неоднородных систем путем вычисления зарядов, накапливающихся на границе раздела дисперсной фазы и дисперсионной среды. Эта задача решается аналитически с использованием теоремы Грина.

Предположим, что в однородной среде с диэлектрической проницаемостью ϵ объемные заряды ρ расположены в конечной области пространства, как это имеет место в реальных системах. Выделим объем V_0 , регулярная поверхность S_0 , которого все пространство делит на две

области - внутреннюю V_0 и внешнюю V_1 . Если внешнее электрическое поле с напряженностью $\vec{E}_0$ однородное, то теорема Грина применима не только к V_0 , но и к внешней области V_1 [7].

Предположим, что заданная точка $M(x', y', z')$ находится внутри области V_1 , внутренняя поверхность которой равна S_0 , а внешняя - S_1 стремится к бесконечности. Согласно теореме Грина, интеграл по поверхности S_1 стремится к нулю, а потенциал в заданной точке равен [7]:

$$\varphi(x', y', z') = -\frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{V_1} \frac{\rho}{r} dv + \frac{1}{4\pi} \int_{S_1} \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial n} dS - \frac{1}{4\pi} \int_{S_0} \varphi \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS. \quad (1)$$

Первый член этого уравнения представляет собой потенциал от зарядов ρ , находящихся внутри объема V_1 , а поверхностные интегралы учитывают все заряды вне объема (то есть внутри объема V_0). Однако второй член этого уравнения эквивалентен также потенциалу простого электрического слоя зарядов, распределенных по поверхности с плотностью

$$\tau = \epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial n}, \quad (2)$$

а третий член - потенциалу двойного электрического поля на поверхности S_0 с плотностью дипольных моментов

$$p_s = \epsilon \varphi \quad (3)$$

При этом поверхностный дипольный момент p_s двойного слоя есть вектор, который равен пределу

$$\vec{p}_s = \vec{n}_0 \lim_{\ell \rightarrow 0} (\sigma \ell), \quad (4)$$

где ℓ - бесконечно малая толщина двойного слоя, $\vec{n}_0$ - единичный вектор положительной нормали в точках на поверхности S_0 , направленный из V_1 .

Исходя из этого, доказываем, что заряды, находящиеся внутри поверхности S_0 (внутри V_0), могут быть заменены эквивалентными простым и двойным слоями, плотности которых определяется по (2) и (3), без каких-либо изменений потенциалов во внутренних точках области V_1 . В это же время потенциалы в точках области V_0 будут определяться только по приложенному внешнему полю $\vec{E}_0$. Используем эти данные для решения следующей задачи.

Предположим, что в дисперсионной среде с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 = 1$ размещены дисперсные фазы (включения) с ДП ϵ_2 и объемами V_2 . Пусть они занимают ограниченную область пространства, что имеет место в реальных дисперсных системах (емкостях). Из области выделим физически бесконечно малый объем V_0 , вмещающий в себя n включений. Вся система находится под воздействием внешнего однородного поля с напряженностью $\vec{E}_0$. В этом случае в пространстве будут расположены поляризованные заряды включений с объемной плотностью ρ_2 . Если рассматриваемая точка находится в области V_1 , то используя теорему Грина, будем иметь

$$\varphi_M = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{V_0} \frac{\rho_2}{r} dV + \frac{1}{4\pi} \int_{S_0} \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} dS - \\ - \frac{1}{4\pi} \int_{S_0} \varphi_2 \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS + \varphi_{E_0}, \quad (5)$$

где второй член уравнения эквивалентен потенциалу зарядов простого электрического слоя на поверхности S_0 и равен поляризованному заряду, входящему внутри области V_0 с n включениями, а третий член - потенциалу двойного электрического слоя тех же включений. Эти два члена уравнения (5) выразим через соотношения (2) - (3), учитывая, что теперь граничные условия диэлектрик-диэлектрик определяются на границе раздела неоднородностей.

С использованием теоремы векторного поля для энергии на поляризацию находящихся в области V_0 n включений получена формула [5, 6]:

$$W_2 = (1/2)\epsilon_0(1 - \epsilon_2)\bar{E}_0 \sum_{i=1}^n \int_{V_{2i}} \bar{E}_{2i} dv, \quad (6)$$

где $\bar{E}_{2i}$ - напряженность электрического поля внутри i -й частицы, V_{2i} - его объем. Эта же энергия равна [8]

$$W_2 = -(1/2) \sum_{i=1}^n \bar{E}_0 \bar{p}_{2i}, \quad (7)$$

где $\bar{p}_{2i}$ - дипольный момент i -го включения. Приравнявая (6) и (7), имеем

$$\bar{p}_{2i} = \epsilon_0(\epsilon_2 - 1) \int_{V_{2i}} \bar{E}_{2i} dV. \quad (8)$$

Но по определению [9]:

$$\bar{p}_{2i} = \int_{V_{2i}} \bar{p}_{2i} \bar{r} dV. \quad (9)$$

Имея $\bar{E}_{2i} = -\text{grad} \varphi_{2i}$, $\bar{p}_{2i} = -\text{grad} \sigma_{2i}$, совместно решая (8)-(9) и применяя теорему о градиенте для поверхностей плотности связанных зарядов, получим

$$\sigma_{2i} = \epsilon_0(\epsilon_2 - 1) \partial \varphi_{2i} / \partial \bar{r}, \quad (10)$$

где $\partial \varphi_{2i} / \partial \bar{r}$ - значение производной потенциала на поверхности i -го включения. Так как в области V_0 имеются n частиц, то перенесенный на поверхность S_0 заряд простого электрического слоя будет равен

$$Q_2 = \sum_{i=1}^n S_{2i} \sigma_{2i} = \epsilon_0(\epsilon_2 - 1) \sum_{i=1}^n S_{2i} \partial \varphi_{2i} / \partial \bar{r}. \quad (11)$$

В реальных дисперсных системах двойной электрический слой имеет конечную толщину ℓ_c и определенную конечную проводимость σ_c .

Теперь из (8) и (9) для плотности дипольного момента двойного электрического слоя i -го включения будем иметь

$$\bar{p}_{11} = -\epsilon_0(\epsilon_2 - 1) \oint \varphi_{21} d\bar{S} = -\oint \sigma_{21} n d\bar{S} = -\oint \sigma_{21} \ell_{2c} d\bar{S}. \quad (12)$$

откуда

$$\sigma_{21} = \epsilon_0(\epsilon_2 - 1) \varphi_{21} / \ell_{2c}. \quad (13)$$

где φ_{21} — значение потенциала на поверхности включений. Следовательно, перенесенный на поверхность S_0 заряд двойного электрического слоя будет равен

$$Q_1'' = \epsilon_0(\epsilon_2 - 1) \sum_{i=1}^N S_{2i} \varphi_{2i} / \ell_{2c}. \quad (14)$$

Пронимая в физически бесконечно малом объеме V_0 усреднение, из реальной дисперсной системы получаем эквивалентную ей модель, в которой область V_0 превращается в однородную среду с ДП ϵ , что и является усредненным значением проницаемости дисперсной системы [5, 6]. При этом вне области V_0 потенциал в заданной точке M не изменяется. Выполняя аналогичные расчеты для модели, отличающейся от реальной среды только средой в области V_0 , вместо (11) и (14) имеем

$$Q' = S_0 \sigma' = S_0 \epsilon_0(\epsilon - 1) \partial \varphi / \partial \bar{r}, \quad (15)$$

$$Q'' = S_0 \sigma'' = S_0 \epsilon_0(\epsilon - 1) \varphi / \ell_c. \quad (16)$$

где $\partial \varphi / \partial \bar{r}$ — производная потенциала на поверхности S_0 , φ — значение потенциала на той же поверхности. Так как в реальной среде и в ее модели потенциал в заданных точках $M(x', y', z')$ по теореме Грина не изменяется, то приравнивание (5) к потенциалу точки $M(x', y', z')$ модели дает

$$\begin{aligned} \frac{1}{4\pi} \int \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial n} dS - \frac{1}{4\pi} \int \varphi \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS = \\ = \frac{1}{4\pi} \int \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial n} dS - \frac{1}{4\pi} \int \varphi \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) dS. \end{aligned} \quad (17)$$

Согласно условиям (1)-(4), соотношение (17) эквивалентно равенству

$$Q_1' - Q_1'' = Q' - Q'' \quad (18)$$

Учитывая (11), (14)-(16), последнее уравнение принимает вид

$$\epsilon_0(\epsilon_2 - 1) \left[\sum_{i=1}^N S_{2i} \left(\frac{\partial \varphi_{2i}}{\partial \bar{r}} - \varphi_{2i} / \ell_{2c} \right) \right] = \epsilon_0 S_0 (\epsilon - 1) \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{r}} - \varphi / \ell_c \right). \quad (19)$$

Таким образом, усредненное значение ДП неоднородной среды ϵ можем вычислить из (19), если известны формы дисперсных фаз.

Предположим, включения представляют собой сферические частицы одинаковых размеров. Тогда область V_0 также имеет форму сферы [5, 6]. В теории Максвелл-Вагнеровской поляризации не учитывается влияние двойного электрического слоя и потенциал внутри сферических тел в модели Вагнера (при $\epsilon_2 = 1$) равен [2]

$$\varphi_{21} = \varphi_2 = -3E_0 r \cos \theta / (\epsilon_2 + 2), \quad \varphi = 3E_0 r \cos \theta / (\epsilon + 2). \quad (20)$$

Подставляя (20) в (19), получаем формулу Максвелла-Вагнера (при $\epsilon_2 \neq 1$):

$$\epsilon = \epsilon_1 [\epsilon_2 + 2\epsilon_1 + 2f_2(\epsilon_2 - \epsilon_1)] / [\epsilon_2 + 2\epsilon_1 - f_2(\epsilon_2 - \epsilon_1)], \quad (21)$$

где $f_2 = nV_2 / V_0$ — объемная доля включений.

Полученное соотношение (19) позволяет рассчитать ϵ смесей с другими формами включений с учетом взаимодействий частиц и двойного электрического слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нетушил А.В. Модели электрических полей в гетерогенных средах нерегулярных структур // Электричество. - 1975. - № 10. - С. 1-8.
2. Духин С.С., Шилов В.Н. Диэлектрические явления в двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах. - Киев: Наук. думка, 1972. - 205 с.
3. Карапетян М.А. Исследование электрического поля в неоднородной среде. - Ереван: Луйс, 1990. - 216 с.
4. Арамян М.А. К расчету обобщенной проводимости неоднородных систем // ИФЖ. - 1988. Т. 55, №1. - С. 143-144.
5. Арамян М.А. Расчет поля в кубической пространственной системе сферических частиц, помещенных во внешнее однородное поле // Теоретическая электротехника. - 1990. - № 12. - С. 107-118.
6. Арамян М.А. Уточнение в теории расчета диэлектрической проницаемости Максвелла-Вагнера // Коллоидный журнал. - 1992. - Т. 54, № 5. - С. 24-33.
7. Страттон Дж.А. Теория электромагнетизма. - М.: Л. Гостехиздат, 1948. - 540 с.
8. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Л. Гостехиздат, 1966. - с.

ГИУА

9. 06. 1994

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 1, 1996, с. 27-32.

УДК 621.382.026

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г.Г. КИРАКОСЯН, Г.А. МАКАРЯН, А.С. ШАБОЯН

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ ДЛЯ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Կոլեկտորային հոսանքի ողջ տիրույթի համար տեսականորեն և փորձնականորեն հետազոտված է կոլեկտորային հոսանքի ուժեղացման գործակիցի անջատությունը կոլեկտոր-էմիտեր հաղացման լարումից: Հաստատված է, որ կոլեկտորային հոսանքի փոքր և միջին արժեքների դեպքում այդ անջատությունն ունի ուժեղ րնույթ, իսկ մեծ հոսանքների դեպքում այն թուլանում է: Ցույց է տրված, որ այդ անջատության տեսական կորերը լավ համընկնում են փորձնական կորերի հետ:

Теоретически и экспериментально исследована зависимость коэффициента усиления (КУ) от напряжения насыщения коллектор-эмиттер силового транзистора во всем диапазоне коллекторного тока. Установлено, что при средних и малых значениях коллекторного тока зависимость коэффициента усиления от напряжения насыщения коллектор-эмиттер имеет сильный характер, а при больших токах

слабый. Показано, что теоретические кривые зависимости КУ от коллекторного тока достаточно хорошо совпадают с экспериментальными кривыми.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

The dependency of the current gain on the collector-emitter saturation voltage of a power transistor is investigated both theoretically and experimentally. It is found that for small and intermediate values of the collector current there exists a strong dependency of the current gain on the collector-emitter saturation voltage, whereas the mentioned relationship is weaker for large collector currents. It is shown that theoretical curves of the current gain are in good agreement with corresponding experimental curves.

Ил. 2. Ref. 5.

Одним из основных вопросов, решаемых при создании силовых транзисторов, является выбор оптимальных характеристик приборов, от которых во многом зависит их применение. В частности, важное значение имеет теоретическое и экспериментальное исследование коэффициента усиления (КУ) h_{21} силового транзистора в зависимости от напряжения насыщения коллектор-эмиттер U_{ce} . Изучению этой проблемы и посвящена настоящая работа.

Резкое падение кривой зависимости КУ от коллекторного тока I_c объясняется наличием эффекта оттеснения эмиттерного тока (ЭОЭТ). Этот эффект при прямом смещении был изучен для эмиттера полубесконечной [1] и конечной ширины [2]. Позже была применена интегральная модель контролируемого заряда к анализу высоковольтного $n^+-p-n-n^+$ -транзистора с расширяющейся базой при полной модуляции коллекторного слоя [3]. Разработанные до сих пор методы [2-4], учитывающие ЭОЭТ, являются ограниченными и не объясняют зависимость КУ от напряжения насыщения U_{ce} при малых и средних коллекторных токах. Поэтому актуально исследование в этом токовом диапазоне зависимости КУ от U_{ce} .

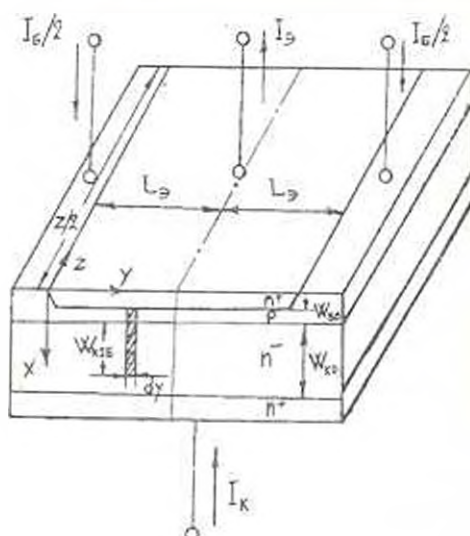


Рис. 1. Поперечное сечение транзистора типа $n^+-p-n-n^+$.

В основе теоретического расчета лежит усовершенствованная модель контролируемого заряда с расширяющейся базовой областью $W_{кБ}$ при частичной модуляции коллекторного слоя, где $W_{кБ} = W_{к0}(1 - I_0/I_1)$ зависит от коллекторного тока.

На рис. 1 показано поперечное сечение $p^+ - p - n^- - n^+$ транзистора. Как известно, базовый ток состоит из др. составляющих тока основных и неосновных носителей. Исключение из расчета диффузионных токов существенно не сказывается на результатах анализа [3]. Плотность тока базы под эмиттерной полосой длиной $z/2$ можно выразить в виде

$$J_B(y) = - \left[\frac{q}{kT} \frac{b+1}{b} \frac{1}{qzD_k Q(y)} \right] \frac{dU_{Б2}(y)}{dy}. \quad (1)$$

Заряд в любой точке базы на единицу площади имеет вид

$$Q(y)/\bar{D}_n = J_2(y)[W_{Б0} + W_{кБ}(I_k)]^2 / 4qD_k^2, \quad (2)$$

где $W_{Б0}$ — толщина активной базы; $\bar{D}_n$ — средний коэффициент диффузии электронов; D_k — коэффициент диффузии электронов при высоком уровне инжекции; $J_2(y)$ — плотность эмиттерного тока на расстоянии y от края эмиттера; $b = \mu_n / \mu_p$; $U_{Б2}(y)$ — напряжение база-эмиттер, зависящее от y . Решение уравнения переноса Молла-Росса при высоком уровне инжекции даст

$$J_2(y) = [qn_p^2 D_k / Q(y)] \exp[qU_{Б2}(y)/(kT)]. \quad (3)$$

Уравнение непрерывности для тока в элементарном слое активной базы имеет вид

$$dJ_B(y) = [zD_p / (D_k Q_2)] J_2(y) Q(y) dy, \quad (4)$$

где D_p — коэффициент диффузии дырок в эмиттере p^+ -типа. Совместно решая (1), (3) и (4), получаем дифференциальное уравнение второго порядка относительно $U_{Б2}(y)$:

$$u'' + (u')^2 / 2 = K \exp(u/2), \quad (5)$$

$$u(y) = qU_{Б2}(y)/(kT).$$

$$K = 2n_p b / D_k [W_{Б0} + W_{кБ}(I_k)](1+b)(Q_2 / D_k).$$

Для снижения порядка дифференциального уравнения (5) сделаем замену переменных $p = -du/dy$, $p = p(u)$, после которого (5) принимает вид

$$p dp/du + p^2 / 2 = K \exp(u/2).$$

Вводя новое обозначение $p^2 / 2 = z$, получаем линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка $dz/du + z = K \exp(u/2)$, общее решение которого равно $z = Ce^{-u} + 2/3 K e^{u/2}$ или $du/dy = -\sqrt{Ce^{-u} + 4/3 K e^{u/2}}$.

После некоторых преобразований с учетом краевого условия $u'|_{y=L_2} = 0$ получим

$$d\zeta/\sqrt{\zeta^3-1}=-(k/3)^{1/2}e^{u_1/4}dy. \quad (6)$$

где $u(L_3)=u_1$, $\zeta=(e^{u/2})/(e^{u_1/2})$.

Используя эллиптические интегралы первого рода [5] $F(\varphi, m)$ с модулем $m=\sin^2 \alpha$ ($\alpha=15^\circ$), выражение (6) примет вид

$$y/L_3=1-F(\varphi, m)/F(\varphi_n, m), \quad (7)$$

где φ выражается через ζ следующей формулой:

$$\cos \varphi=(\sqrt{3}+1-\zeta)/(\sqrt{3}+1+\zeta), \quad (8)$$

а $\zeta=1+\sqrt{3}\operatorname{tg}^2(\varphi/2)=J_1(y)/J_1$, где $J_1=J_1(L_3)$. Согласно определению,

эмиттерный ток равен $I_e=\iint J_1(y)ds$. При $ds=zdy$ и $J_1(y)$ получим

$$I_e=zJ_1\int_0^1\zeta dy \text{ или } I_e=\frac{\sqrt{3}}{36}I_{\text{кпер}}F^2(\varphi_n, m)H(\varphi_n), \quad (9)$$

где

$$I_{\text{кпер}}=36q\frac{z}{L_3}\frac{1+b}{b}\left(\frac{Q_2}{D_1}\right)D^2,$$

$$H(\varphi_n)=\frac{1}{F(\varphi_n, m)}\int_0^{\varphi_n}\frac{1+\sqrt{3}\operatorname{tg}^2(\varphi/2)}{\sqrt{1-\sin^2\alpha\sin^2\varphi}}d\varphi.$$

Базовый ток можно выразить через $I_{\text{кпер}}$ и ζ_n аналогичным образом, используя (1) и решение du/dy . Тогда

$$I_B=\frac{I_{\text{кпер}}}{72}3^{1/4}\frac{1+b}{b}\left[\frac{W_{\text{BA}}+W_{\text{KB}}(I_1)}{L_3}\right]\sqrt{\zeta_n^3-1}F^2(\varphi_n, m), \quad (10)$$

где $I_n=S_nU_{\text{KB}}/\rho$, W_{KB} , S_n — площадь эмиттера, а W_{KB} и ρ — толщина и удельное сопротивление коллекторного слоя.

Полученное выражение (9) показывает, что эмиттерный ток не зависит от напряжения U_{KB} , тогда как базовый ток (10) зависит от напряжения U_{KB} через множитель $(W_{\text{BA}}+W_{\text{KB}}(I_1))^2/L_3^2$.

Так как КУ представляет собой отношение коллекторного тока к базовому, то имеем

$$h_{\text{кк}}(I_1)=18h'_1(I_1)\frac{3^{1/4}H(\varphi_n)}{F(\varphi_n, m)\sqrt{\zeta_n^3-1}}, \quad (11)$$

где

$$h'_1(I_1)=\frac{1}{9}\frac{b}{1+b}\left[\frac{L_3}{W_{\text{BA}}+W_{\text{KB}}(I_1)}\right]^2$$

При выводе формулы (11) учитывали, что $I_1\equiv I_1$.

Для построения зависимости КУ от коллекторного тока, когда $I_k < I_{kпер}$, необходимо найти функцию $H(\varphi_n)$ при малых значениях аргумента φ_n ($\varphi_n \ll 1$). Согласно (9) в приближении $\varphi_n \ll 1$ получим

$$H(\varphi_n) = 1 + \frac{\sqrt{3}}{8m^2 F(\varphi_n, m)} \quad (12)$$

$$\left\{ \arcsin(\sqrt{m}\varphi_n) - \sqrt{m}\varphi_n \sqrt{1-m\varphi_n^2} \right\}.$$

Для построения зависимости КУ от коллекторного тока, когда $I_k > I_{kпер}$, необходимо найти функцию $H(\varphi_n)$ при больших значениях аргумента φ_n ($\varphi_n > 1$). После вычисления интеграла, аппроксимируя функцию $H(\varphi_n)$, получаем

$$H(\varphi_n) = 1 + \frac{2\sqrt{3}b}{4(\varphi_n, m)} \left[\frac{\alpha\sqrt{\alpha^2+1}}{\alpha^2+1} - \frac{\beta\sqrt{\beta^2+1}}{\beta^2+1} \right] - \frac{1}{2} F \left(\arccos \frac{\gamma^2-1}{\gamma^2+1}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right) + \frac{1}{2} F \left(\arccos \frac{\beta^2-1}{\beta^2+1}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right) + E \left(\arccos \frac{\gamma^2-1}{\gamma^2+1}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right) - E \left(\arccos \frac{\beta^2-1}{\beta^2+1}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \quad (13)$$

где $\gamma = [a^2 + 16^2(\varphi_n/2)]/b$; $\beta = a^2/b$; $a^2 = (1-2m)$; $b^2 = 4m(1-m)$.

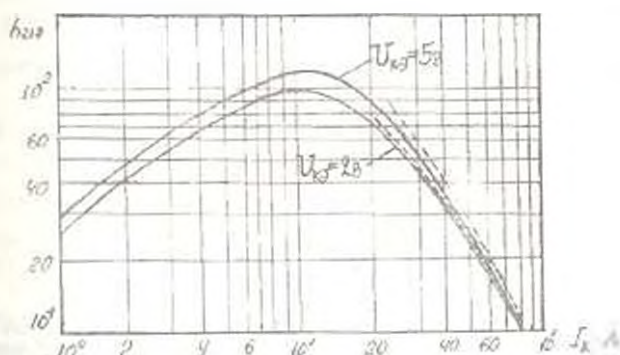


Рис. 2. Расчетные (штриховые линии) и экспериментальные кривые зависимости КУ от коллекторного тока

I_k при $U_{кз} = 2 В$ и $U_{кз} = 5 В$

Алгоритм расчета зависимости h_{21} от коллекторного тока I_k заключается в следующем: задается произвольное значение φ_n и по формуле (8) определяется ζ_n . В дальнейшем при условии $\varphi_n \ll 1$ с помощью (9) и (12) находим коллекторный ток I_k , а с помощью (10)–(12) вычисляем h_{21} . Если же $\varphi_n > 1$, для нахождения коллекторного тока I_k

используются (9) и (13), а h_{21} вычисляется с помощью формул (10), (11), (13). Изменяя значение Φ_n , получаем весь спектр значений функциональной зависимости $h_{21}(I_k)$ для интересующего диапазона значений I_k . Для определения $W_{\text{ан}}$ были приняты $U_{\text{сб}} = 2 \text{ В}$ и $U_{\text{сз}} = 5 \text{ В}$, что установлено в режимах измерения h_{21} для силовых транзисторов (рис. 2). При расчете использовались следующие данные: $S_n \approx 0.65 \text{ см}^2$, $\rho_k = 40 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; $W_{\text{ан}} = 25 \text{ мкм}$; $W_{\text{БЭ}} = 10 \text{ мкм}$; $D_n = 15 \text{ см}^2\cdot\text{с}^{-1}$; $Q_n/D_n = 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^2\cdot\text{с}$. Эти данные применяются в технологии изготовления силовых транзисторов для токов в диапазоне 15...80 А (НПП "Транзистор").

В работе использован широкий диапазон коллекторного тока для выявления зависимости коэффициента усиления от напряжения насыщения коллектор-эмиттер. При малых и средних токах $I_k \leq I_{k_{\text{пер}}}$ наблюдается сильная зависимость КУ от $U_{\text{сз}}$, тогда как при больших токах $I_k > I_{k_{\text{пер}}}$ эта зависимость становится слабой, что совпадает с выводами [3]. Полученные результаты позволяют при проектировании силовых транзисторов путем подбора необходимого значения $I_{k_{\text{пер}}}$ исключить предное влияние ЭОЭТ на основные параметры приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ghandhi S.K. Semiconductor Power Devices. - Wiley, New York, 1977.
2. Блюхер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 248 с.
3. Baliga B.J. Modern Power Devices. - Wiley, New York, 1987.
4. Варданян А.А. Расчет и конструирование силовых транзисторных ключевых элементов. - Ереван: Меганарт, 1991. - С.
5. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. - М.: Наука, 1971. - 1108 с.

НПП "Транзистор"

10.10.1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТИ), т. XLIX, № 1, 1996, с. 32-36.

УДК 62.50

АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Г.Л. АРЕШЯН

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ

Բազմակապ համակարգերի հետազոտման համար առաջարկվում է օգտագործել էներգետիկական մատրիցներ, որոնք նկարագրում են համակարգը, որի ազդանշանները բնութագրվում են սպեկտրալ խտություններով: Էներգետիկական

մատրիցների հիմքով երաշխավորվում են համակարգերի գծահատման Ըոր չափանիշներ:

Для исследования многосвязных систем предложено использовать энергетические матрицы, которые описывают систему, где сигналы характеризуются спектральными плотностями. Рекомендованы новые критерии оценки систем на основе энергетических матриц.

Библиогр.: 1 назв.

Energy matrices are proposed to be used for investigation of multilinked systems describing a system in which signals are characterized by spectral densities. New criteria for system evaluation are proposed based on energy matrices.

Ref. 1.

Многосвязные системы управления общепринято описывать матрицей передаточных функций, задаваемых в комплексной плоскости от параметра S - Лапласовского преобразования, либо от частотного параметра $j\omega$ [1]. При этом входные и выходные сигналы представляют собой Лапласовские изображения временных функций этих сигналов. На базе таких матриц

$W(j\omega) = \{w_{ij}(j\omega)\}$, $n \times n$ (назовем их амплитудно-фазовыми) проводится весь дальнейший анализ и синтез многосвязных систем управления (в т.ч. и робастных). Не останавливаясь на достоинствах и недостатках амплитудно-фазовой матрицы в качестве базовой, ниже рассмотрен и предложен другой выбор базовой матрицы для проведения анализа и синтеза многосвязных систем управления. В качестве такой базовой матрицы предлагается использовать энергетическую матрицу $E(\omega) = \{e_{ij}(\omega)\}$, $n \times n$, которая устанавливает связь между спектральными плотностями входных $S_x(\omega)$ и выходных $S_y(\omega)$ сигналов

$$S_y(\omega) = E(\omega)S_x(\omega), \quad (1)$$

где $S_x(\omega)$ и $S_y(\omega)$ — векторы-столбцы ($n \times 1$).

В этом случае для описания сигналов, действующих в системе, используется непосредственно энергетический параметр, так как $\pi^{-1}S_x(\omega)$ представляет собой парциальную мощность сигнала $x_i(t)$ в частотной области. Сигнал во временной области $x(t)$, его собственная корреляционная функция $R_x(\tau)$ и спектральная плотность $S_x(\omega)$ взаимосвязаны известными аналитическими выражениями и легко могут быть определены, если известно одно из этих выражений как для детерминированных, так и для стационарных случайных процессов. Элементы энергетической матрицы $e_{ij}(\omega)$ связаны с элементами амплитудно-фазовой передаточной матрицы системы соотношением

$$e_{ij}(\omega) = w_{ij}(-j\omega)w_{ij}(j\omega) = (\operatorname{Re} w_{ij})^2 + (\operatorname{Im} w_{ij})^2 \quad (2)$$

и в общем случае являются дробно-рациональной функцией полиномов от четных степеней частоты ω .

Для описания многосвязных систем выведем следующие энергетические матрицы.

1. Общая энергетическая матрица системы

$$E(\omega) = \{e_{ij}(\omega)\}, \quad n \times n. \quad (3)$$

2. Главная энергетическая матрица системы (диагональная)

$$\Lambda(\omega) = \text{diag}\{\lambda_i(\omega)\}, \quad \lambda_i(\omega) = e_{ii}(\omega). \quad (4)$$

3. Энергетическая матрица связей системы (диагональные элементы равны нулю)

$$L(\omega) = \{\ell_{ij}(\omega)\}, \quad \ell_{ij}(\omega) = e_{ij}(\omega) \quad i \neq j, \quad \ell_{ii}(\omega) = 0. \quad (5)$$

Связи между (4) и (5) имеет вид

$$E(\omega) = \Lambda(\omega) + L(\omega). \quad (6)$$

4. Удельная энергетическая матрица системы (диагональные элементы равны единице)

$$R(\omega) = \{\rho_{ij}(\omega)\}, \quad \rho_{ij}(\omega) = e_{ij}(\omega) / e_{ii}(\omega). \quad (7)$$

5. Удельная энергетическая матрица связей (диагональные элементы равны нулю)

$$Q(\omega) = R(\omega) - I = \{q_{ij}(\omega)\}, \quad q_{ii} = 0, \quad q_{ij} = \rho_{ij}, \quad i \neq j, \quad (8)$$

где I — единичная матрица.

6. Диагональная матрица собственных значений общей энергетической матрицы системы

$$D(\omega) = \text{diag}\{d_i(\omega)\}, \quad (9)$$

где $d_i(\omega)$, $1 \leq i \leq n$ — собственные значения или спектр матрицы $E(\omega)$.

Все предложенные выше энергетические матрицы могут описывать (с теми же обозначениями) как замкнутые, так и разомкнутые многосвязные системы, либо их отдельные структурные блоки, что в случае необходимости должно оговариваться дополнительно.

Для пояснения физического смысла предлагаемых ниже новых критериев проще всего исходить из условия, что по всем входным каналам подаются сигналы, спектральная плотность которых одинакова и равна единице $S_{ii}(\omega) = 1$.

Тогда на выходе спектральные плотности сигналов будут равны (1) и (6):

$$S_i(\omega) = E(\omega) = \Lambda(\omega) + L(\omega). \quad (10)$$

где — матрица-столбец из единиц.

Предлагаются следующие основные критерии многосвязной системы в энергетическо-частотной области.

1. Критерий связности канала i со всеми остальными каналами

$$K_i^m(\omega) = \sum_{j=1}^n \ell_{ji}(\omega), \quad (11)$$

где ℓ_{ji} — элементы матрицы (5).

Физически представляет собой суммарную парциальную мощность, поступающую в канал i от всех остальных каналов при условии (10).

2. Удельный критерий связности канала i со всеми остальными каналами

$$K_1^{(i)}(\omega) = \sum_{n=1}^n q_n(\omega), \quad (12)$$

где $q_{ij}(\omega)$ — элементы матрицы (8).

Критерий физически представляет собой долю суммарной парциальной мощности, поступающей в канал "i" относительно парциальной мощности, поступающей в канал "i" от собственного входного сигнала при условии (10).

3. Общий критерий связности системы

$$K_1(\omega) = \max_{1 \leq i \leq n} K_1^{(i)}(\omega) = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n \ell_{ij}(\omega). \quad (13)$$

Математически это является " ∞ -нормой" матрицы связности $L(\omega)$, а геометрически — верхней огибающей семейства функций (11) в энергетически-частотной плоскости, что и проясняет физический смысл этого критерия.

4. Удельный критерий связности системы

$$K_1(\omega) = \max_{1 \leq i \leq n} K_1^{(i)}(\omega) = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n q_{ij}(\omega), \quad (14)$$

который является " ∞ -нормой" матрицы $Q(\omega)$ (8), а геометрически — верхней огибающей семейства функций (12), что делает понятным физический смысл критерия.

Все вышеуказанные критерии удобны для анализа взаимодействия каналов друг на друга в энергетически-частотных областях.

5. Критерий удаленности системы от своего развязанного состояния

$$K_2(\omega) = \|\Lambda(\omega)\|_E - \|D(\omega)\|_E = \left(\sum_i |\lambda_i|^2 \right)^{1/2} - \left(\sum_i |d_i|^2 \right)^{1/2}, \quad (15)$$

который является разностью евклидовых норм матриц — главной диагональной (4) и диагональной матрицы собственных значений (9).

Евклидова норма матрицы $\Lambda(\omega)$ представляет собой приведенную суммарную парциальную выходную мощность, при отключении межканальных связей, а евклидова норма матрицы $D(\omega)$ — мощность, имеющаяся во всей развязанной системе, эквивалентной исходной многосвязной. При этом, если сохраняем условие $S_{ii}(\omega) = 1, 1 \leq i \leq n$ для обеих систем, то физический смысл критерия состоит в сравнении этих мощностей при неизменных входных сигналах. Критерий удаленности $K_2(\omega) \rightarrow 0$, когда недиагональные элементы общей энергетической матрицы системы $E(\omega)$ стремятся к нулю. Критерий удобен для оценки возможности упрощения дальнейшего анализа и синтеза путем использования вместо общей энергетической матрицы системы $E(\omega)$ главной диагональной матрицы $\Lambda(\omega)$, либо диагональной матрицы $\Lambda(\omega)$, получаемой как приближение к матрице $D(\omega)$. Элементы матрицы $\Lambda(\omega)$ могут быть определены аналитически, не прибегая к численным расчетам нахождения собственных значений матрицы $E(\omega)$.

6. Критерий удаленности (энергетического "расстояния") системы от базовой

$$K_3(\omega) = \|E(\omega)\|_E - \|E_b(\omega)\|_E, \quad (16)$$

где $E_b(\omega)$ — матрица базовой системы той же размерности.

Критерий удобен для сравнения семейства многосвязных систем, в которых варьируются параметры в результате их неопределенности (семейство робастных систем), с помощью энергетического "расстояния", отсчитываемого от базовой системы.

Автор предлагает проводить исследование многосвязных систем управления, используя энергетические матрицы, которые, в отличие от амплитудно-фазовых матриц, описывают многосвязную систему, где сигналы характеризуются их спектральными плотностями. При этом элементы энергетических матриц являются квадратами модулей элементов амплитудно-фазовых матриц.

Предложены шесть типовых энергетических матриц, с помощью которых может проводиться дальнейший анализ многосвязных систем, и шесть новых критериев, которые оценивают многосвязные системы с разных сторон в энергетико-частотных областях. Указан физический смысл предложенных критериев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления.-М.: Наука, 1984.-318 с.

ГИУА

22.03.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). т. XLIX. № 1, 1996, с. 36-41.

УДК 622.7:50/52

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Б. БЕЙМ, Г.Т. КИРАКОСЯН

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Հիմնվելով «Ծախսեր-արտադրանք» վերլուծության բնորոշիչ, բազմաշափանհշային գծային օպտիմիզացիոն STEM մեթոդի և լավագույն տեխնոլոգիայի տարբերակի ընտրման ELECTRE մեթոդի վրա, առաջարկված են էկոնոմիկամաթեմատիկական մոդել և բվային օրինակի լուծում հումքի համալիր վերամշակման ընտրվող տեխնոլոգիական շղթայի օպտիմալ չափանիշների որոշումը:

На основе теории анализа "затраты-выпуск", методов многокритериальной линейной оптимизации STEM и окончательного выбора лучшего технологического варианта ELECTRE предложены экономико-математическая модель и решение числового примера выбора оптимальных показателей технологической схемы комплексной переработки минерального сырья.

Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

An economical mathematical model and a solution of the numerical example with optimal indices selection of a technological circuit for complex machining of mineral raw material are proposed on the bases of an "expenditure-production" analysis, methods of multicriterion linear optimization STEM and final selection of the best technological version of ELECTRE.

Tables 2. Ref. 5.

В некотором промышленном регионе имеется горно-перерабатывающее предприятие, для реконструкции которого разработано m различных технологических вариантов и можно организовать производство по выпуску n дефицитных стройматериалов (силикатный кирпич, портландцемент, песок, гравий, щебень и др.). Необходимо выбрать оптимальный вариант технологической схемы комплексной переработки минерального сырья на горно-перерабатывающем предприятии с определением основных технико-экономических показателей.

Решение поставленной задачи можно разделить на две взаимосвязанные подзадачи:

а) определение оптимальных технико-экономических показателей для каждого варианта технологической схемы комплексной переработки минерального сырья реконструируемого горно-перерабатывающего предприятия с учетом экологического фактора (решение методом STEM [1]);

б) выбор оптимальной технологической схемы комплексной переработки минерального сырья реконструируемого горно-перерабатывающего предприятия (решение методом ELECTRE [2]).

Для решения первой подзадачи введем необходимые обозначения взаимосвязей основных входных и выходных технико-экономических показателей i -го варианта технологической схемы комплексной переработки минерального сырья на реконструируемом горно-перерабатывающем предприятии: Q_k , Q_j — годовые объемы выпуска k -го основного продукта (концентрата) и текущих отходов; q_j — годовой объем выпуска j -го стройматериала; KQ_k — удельная себестоимость выпуска k -го основного продукта; V — годовые суммарные вредные выбросы от производства основного продукта и всех стройматериалов; Y , Y_1 — суммарное годовое значение времени работы машин и механизмов, а также рабочих и служащих, занятых в производстве; A — суммарное значение капиталовложений на реконструкцию технологического процесса производства.

Y , Y_1 , Y_2 и A являются входными переменными подзадачи, и Q_k ($k=1, m$), KQ_k ($k=1, m$), Q_j ($j=1, n$), K_j ($j=1, n$) и V — выходными, которые должны быть оптимизированы.

Математическая модель первой подзадачи с учетом сказанного, основываясь на теории анализа "затраты-выпуск" и принимая $m=2$ и $n=4$, может быть описана при помощи следующих линейных уравнений:

$$\begin{aligned} Q_1 &= a_{11}Y_1 + a_{12}Y_2 + a_{13}Y_3 + a_{10}, \\ Q_2 &= a_{21}Y_1 + a_{22}Y_2 + a_{23}Y_3 + a_{20}, \\ Q_3 &= Y_1 - Q_1 - Q_2, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
q_1 &= d_{11}Q_1 + d_{12}Y_2 + d_{13}Y_3 + d_{10}, \\
q_2 &= d_{21}Q_1 + d_{22}Y_2 + d_{23}Y_3 + d_{20}, \\
q_3 &= d_{31}Q_1 + d_{32}Y_2 + d_{33}Y_3 + d_{30}, \\
q_4 &= d_{41}Q_1 + d_{42}Y_2 + d_{43}Y_3 + d_{40},
\end{aligned}
\tag{2}$$

$$V = C_1Q_1 + C_2Q_2 + C_3q_1 + C_4q_2 + C_5q_3 + C_6q_4 + C_0, \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
KQ_1 &= M_0 + M_{11}Q_1, \text{ если } Q_1 \leq Q_1^*, M_{11} < 0, \\
KQ_1 &= M_1 + M_{12}Q_1, \text{ если } Q_1 \geq Q_1^*, M_{12} > 0, \\
KQ_2 &= M_2 + M_{21}Q_2, \text{ если } Q_2 \leq Q_2^*, M_{21} < 0, \\
KQ_2 &= M_3 + M_{22}Q_2, \text{ если } Q_2 \geq Q_2^*, M_{22} > 0,
\end{aligned}
\tag{4}$$

$$\begin{aligned}
K_1 &= B_0 + B_{11}g_1, \text{ если } g_1 \leq g_1^*, B_{11} < 0, \\
K_1 &= B_1 + B_{12}g_1, \text{ если } g_1 \geq g_1^*, B_{12} > 0, \\
K_2 &= B_2 + B_{21}g_2, \text{ если } g_2 \leq g_2^*, B_{21} < 0, \\
K_2 &= B_3 + B_{22}g_2, \text{ если } g_2 \geq g_2^*, B_{22} > 0, \\
K_3 &= B_4 + B_{31}g_3, \text{ если } g_3 \leq g_3^*, B_{31} < 0, \\
K_3 &= B_5 + B_{32}g_3, \text{ если } g_3 \geq g_3^*, B_{32} > 0, \\
K_4 &= B_6 + B_{41}g_4, \text{ если } g_4 \leq g_4^*, B_{41} < 0, \\
K_4 &= B_7 + B_{42}g_4, \text{ если } g_4 \geq g_4^*, B_{42} > 0,
\end{aligned}
\tag{5}$$

$$A \geq B_0 + B_1Q_1 + B_2Q_2 + B_3q_1 + B_4q_2 + B_5q_3 + B_6q_4, \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
S &= B_{01}/Q_1 + B_{02}/Q_2 + B_{03}/q_1 + B_{04}/q_2 + B_{05}/q_3 + \\
&+ B_{06}/q_4 + B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6,
\end{aligned}
\tag{7}$$

где a_{ki} , d_{ji} — коэффициенты выхода k -го и j -го стройматериала основного продукта из единицы i -го входного переменного; a_{10} , d_{j0} — коэффициенты свободного члена балансового уравнения при производстве k -го основного продукта и j -го стройматериала; C_1 , C_2 — коэффициенты вредных выбросов при производстве единиц всех четырех стройматериалов; C_0 , B_0 — значения коэффициентов свободного члена балансового уравнения суммарных вредных выбросов при производстве стройматериалов по данной технологии переработки сырья и ограничения капиталовложений при организации производства переработки сырья; B_1 , B_2 и B_3 — B_0 — коэффициенты значений при организации производства единиц основных продуктов и всех четырех стройматериалов; B_{01} , B_{02} и B_{03} — B_{04} — коэффициенты значений издержек капиталовложений при производстве всех объемов основных продуктов и стройматериалов; S — суммарное значение издержек капиталовложений при организации и производстве единицы продукции на реконструируемом горно-

перерабатывающем предприятии, причем уравнение (7) рассматривается только по второй подзадаче: M_i ($i=\overline{0,3}$), M_{it} ($t=\overline{1,2}$, $i=\overline{1,2}$) и B_i ($i=\overline{0,7}$), B_{ij} ($j=\overline{1,4}$, $i=\overline{1,2}$) — коэффициенты уравнений удельных себестоимостей при производстве основных продуктов и стройматериалов. Причем зависимости $KQ_i(q_i)$ ($i=\overline{1,2}$) и $K_j(q_j)$ ($j=\overline{1,4}$) нелинейные [3]. Однако в практических экономических расчетах зависимости удельных себестоимостей от объемов выпуска рассматриваются как линейные. Поэтому после их аппроксимации линейные значения удельных себестоимостей основных продуктов и стройматериалов должны рассчитываться как по первой ветви, так и по второй, в зависимости от значения выбранных объемов, которые могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$KQ_k = K'Q_k - M_{ik}(Q_k - Q_{k1}), \quad k=\overline{1,2}, \quad i=\overline{1,2}, \quad (8)$$

$$K_j = K'_j - B_{ij}(q_j - q_{j1}), \quad j=\overline{1,4}, \quad i=\overline{1,2}, \quad (9)$$

где KQ_k , K_j — значения удельных себестоимостей k -го основного продукта и j -го стройматериала по данной i -й ветви; Q_k , q_j — текущие значения объемов выпуска k -го основного продукта и j -го стройматериала; M_{ik} , B_{ij} — алгебраические значения коэффициентов при Q_k и q_j из (4), (5). В качестве критериев оптимизации первой подзадачи выбраны все выходные переменные:

- максимизация годовых объемов выпуска k -го основного продукта ($\max Q_k$, $k=\overline{1,2}$) и j -го стройматериала ($\max q_j$, $j=\overline{1,4}$);
- минимизация годовых суммарных вредных выбросов ($\min V$), удельных себестоимостей выпуска k -го основного продукта ($\min KQ_k$, $k=\overline{1,2}$) и j -го стройматериала ($\min K_j$, $j=\overline{1,4}$).

Минимальное значение удельных себестоимостей k -го основного продукта и j -го стройматериала ($\min KQ_k$ и $\min K_j$) достигается при таких Q_k^m и q_j^m , когда абсолютные значения разностей $K''Q_k$ и $K''q_{k2}(\Delta Q_k)$, а также K''_j и $K''_j(\Delta_j)$ минимальны:

$$\Delta Q_k = \min |K''Q_{k1} - K''Q_{k2}|, \quad k=\overline{1,2}, \quad (10)$$

$$\Delta_j = \min |K''_j - K''_{j2}|, \quad j=\overline{1,4}.$$

В первой подзадаче значения входных переменных задаются в виде интервалов:

$$Y_1 \leq Y_1 \leq \bar{Y}_1, \quad Y_2 \leq Y_2 \leq \bar{Y}_2, \quad Y_3 \leq Y_3 \leq \bar{Y}_3, \quad (11)$$

где Y_1 , $\bar{Y}_1$ — нижний и верхний пределы годовых объемов переработки минерального сырья; Y_2 , $\bar{Y}_2$ и Y_3 , $\bar{Y}_3$ — нижний и верхний пределы суммарных годовых значений времени работы машин и механизмов, используемых при комплексной переработке минерального сырья, а также

рабочих и служащих, занятых в производстве рассматриваемой технологической схемы.

Таблица 1

Оптимальные технико-экономические показатели вариантов
технологических схем

Номера вариан- тов	Годовые объемы выпуска продукции при переработке руды на комбинате, 10 ³ т						Суммарные годовые вредные выбросы, 10 ³ т
	медный промпро- дукт	молиб- деновый концент- рат	цемент	кирпич млн. шт	щебень	песок	
1	188,5	199,3	368,5	40	928	94,6	445,7
2	189,3	200,2	359,7	51	895	72,0	592,8
3	189,1	202,6	224,1	40	948	85,7	396,1

Многокритериальная оптимизационная модель первой подзадачи рассчитывается с помощью пакета IAO, который разработан в Венском Техническом Университете для персональных компьютеров ряда AT [4]. Во второй подзадаче в качестве критериев оптимизации, кроме используемых критериев первой подзадачи, рассматривается также суммарное значение издержек капиталовложений при организации и производстве единицы продукции на реконструируемом горно-перерабатывающем предприятии (S), которое необходимо минимизировать.

Таблица 2

Ранжирование технологических вариантов

Номера вариантов	Р а н ж		
	верхний	нижний	средний
1	1	1	1,0
2	2	1	1,5
3	3	3	3,0

Результаты оптимальных технико-экономических показателей для всех трех вариантов технологических схем комплексной переработки минерального сырья реконструируемого горно-перерабатывающего предприятия приведены в табл. 1. На основе приведенных в табл. 1 результатов выбирается оптимальная технологическая схема комплексной переработки минерального сырья реконструируемого комбината, которая проводится пакетом программ VMZ [5]. Сравнительные результаты по уровню значимости вариантов приведены в табл. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Benayoun R., de Montgolfier J., Tergny J., Larichev O. Lineal Programming with Multiple Objective Functions: Step Method (STEM) // Mathematical Programming. - 1971. - V. 1, N 3. - P. 381-387.
2. Benayoun R., Sussmann B. Manuel reference du programme ELEKTRE // Note de Synthèse et Formation. SEMA Direction Scientifique. - 1966. - N 25. - P. 173-181.
3. Кузнецов Г.И. О характере зависимости себестоимости продукции от масштабов производства // Вестник статистики. - 1962. - № 10. - С. 18-30.

4. Böhm B., Brandner P. Manul for the lao Program Package. Version 1.x. mineo. - 1988 / TU Wien. - 39 p.

5. Böhm B., Brandner P., Fielachmann A., Luptack M., Muller P. Interaktive Optimierung der Wirtschaftspolitik. Projektbericht zum Teil II des Projektes Ökonometrische Studien zur Quantifizierung wirtschaftspolitischer Maßnahmen in Österreich. - 1988 / TU Wien. - 42 p.

ГИУА

10.10.1994

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 1, 1996, с. 41- 44

УДК 539.1.07

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

А.М. СИРУНЯН, С.С. СТЕПАНЯН

Q-МЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА

Ֆազազգայուն դետեկտորի հիման վրա մշակվել է Q-մետրի սխեմայի նոր տարբերակ: Այդ սխեմայում օգտագործված երկու ազդանշանների բազմապատկման մեթոդը (ազդանշանը տրվում է ֆազային դետեկտորի մուտքին հիմնային հաճախությամբ և կրկնակի փոքրացված) թույլ տվեց լավացնելով միջուկային մագնիսական ռեզոնանսի ազդանշանների գրանցման արդյունավետությունը, կրկնակի լավացնել ազդանշան/աղմուկ հարաբերակցությունը: Սարքը ապահովում է չափման ճշգրտությունը $\pm 1\%$ սահմաններում:

Описан Q-метр на основе фазочувствительного детектора для измерения ядерной поляризации мишеней. Применение метода перемножения двух сигналов, подаваемых на вход фазового детектора с опорной частотой и вдвое уменьшенных, позволило повысить эффективность регистрации сигналов ядерных магнитных резонансов и вдвое улучшить отношение сигнал/шум. Прибор обеспечивает точность измерения не хуже $\pm 1\%$.

Ил. 2. Библиогр.: 6 назв.

A new version of Q-meter scheme based on a phase sensitive detector has been developed. The method of multiplication of two signals used in this scheme (the signal is fed to the phase detector input with the basic frequency and reduced twice), enabled to improve the registration efficiency of NMR-signals. The device provides a measurement accuracy within $\pm 1\%$.

Ил. 2. Ref. 6.

Для измерения ядерной поляризации используются различные Q-метры, регистрирующие сигналы ядерного магнитного резонанса (я.м.р.) в веществе мишеней [1 - 6]. Из них наиболее предпочтительны Q-метры на основе фазочувствительного детектора [2], которые имеют следующие достоинства:

- а) более узкая полоса частот на выходе детектора, что облегчает выделение низкочастотного сигнала;
- б) линейная характеристика (в случае диодного детектирования регистрация малых сигналов связана с дополнительными трудностями [3]);

я) компенсируется влияние дисперсии, что следует из анализа резонансных контуров [3]. При диодном детектировании для этой цели необходимо либо уменьшить добротность контура, либо изменить фактор заполнения, что в целом ухудшает чувствительности приемника сигналов я.м.р.

Предлагаемый Q-метр на основе фазочувствительного детектора позволил улучшить отношение сигнал/шум по сравнению с традиционным диодным детектированием [1,3-5].

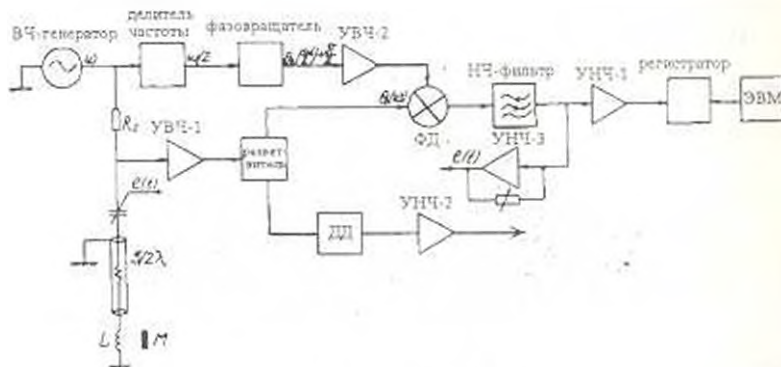


Рис. 1. Блок-схема Q-метра

На рис. 1 приведена блок-схема Q-метра. Высокочастотный (ВЧ) генератор (ВЧ) возбуждает в контуре ток, стабильный по амплитуде и линейно изменяющийся по частоте. Напряжение на контуре усиливается широкополосным усилителем УВЧ-1 [3] и поступает на фазовый детектор ФД. На второй вход ФД подается сигнал ВЧ генератора после деления частоты на два и прохождения через регулируемую фазосдвигающую цепь и усилитель УВЧ-2. С помощью фильтра нижних частот, последовательно включенного на выходе ФД, формируется среднее арифметическое значение выходного напряжения фазового детектора. После фазового детектирования и усиления по низкой частоте в УНЧ-1 выходное напряжение представляет собой смесь полезного сигнала я.м.р. с частично подавленной огибающей амплитудно-частотной характеристики приемного контура. Для сравнения с диодным методом детектирования после усилителя УВЧ-1 часть сигнала отводится в схему диодного детектора ДД, усиливается в УНЧ-2 и выводится для наблюдения.

Фазовый детектор собран по схеме аналогового перемножителя на основе микросхемы К175УВ4. Низкочастотная (НЧ) фильтрация осуществляется с помощью монтажных выходных и входных емкостей детектора и НЧ усилителя [6].

На рис. 2 приведена структурная схема фазочувствительного детектора, поясняющая с помощью временных диаграмм принцип его работы. Сигнал U_1 представляет собой усиленные в УВЧ-1 высокочастотные колебания в контуре, промодулированные сигналом я.м.р. Сигнал U_2 получен из опорной частоты ВЧ генератора после деления на два с помощью схемы цифрового триггера (рис. 2а). С помощью последовательно включенного фильтра нижних частот формируется

выходное напряжение аналогового перемножителя, которое зависит от сдвига фаз между сигналами U_1 и U_2 .

Как видно из временных диаграмм, эффективность детектирования зависит от площади перекрытия сигналов U_1 и U_2 . Для варианта рис. 2а легче осуществить максимальную эффективность совпадения сигналов, чем для рис. 2б, где частоты сигналов U_1 и U_2 равны. Фазовый детектор не регистрирует отдельно напряжения сигналов U_1 и U_2 , что крайне важно для повышения чувствительности и помехоустойчивости прибора. Сигнал U разделенной на два частотой не является резонансным для я.м.р. контура и эффективно им подавляется. Использование фазового детектирования с сигналом половинной частоты в опорном канале позволяло повысить эффективность регистрации по сравнению со стандартным фазочувствительным методом, что особенно проявилось при измерениях теплового равновесного сигнала я.м.р.

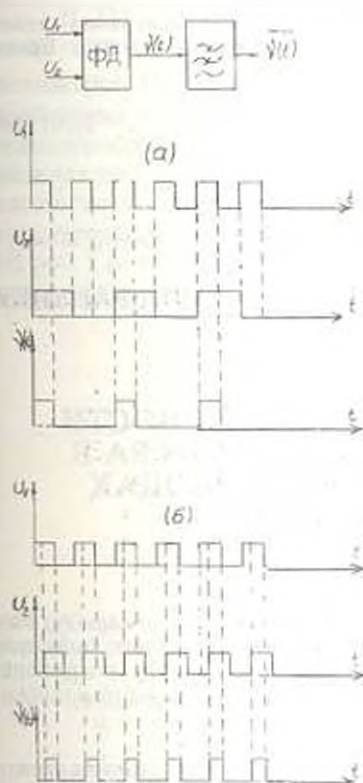


Рис. 2. Временные диаграммы фазочувствительного детектора.

- а - частота сигнала U_1 вдвое меньше опорной;
б - частоты сигналов U_1 и U_2 равны.

Для сравнения двух методов регистрации сигналов ФД и ДЦ были проведены контрольные измерения с дифенилкрилгидрозилом (ДФПГ) в переменном магнитном поле 40 э, создаваемом катушками Гельмгольца. Как показали измерения э.п.р. спектров ДФМГ, Q-метр на основе фазочувствительного детектора, работающий в режиме перемножения двух сигналов, позволил в два раза улучшить отношение сигнал/шум. По нашим оценкам, погрешность регистрации сигналов я.м.р. поглощения составляет не более $\pm 1\%$, что соответствует лучшим из достигнутых в настоящее время

результатов. Длительная эксплуатация прибора показала высокую стабильность измерений и сохранение чувствительности при многосуточных измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Petricek V. Q-meter for polarized target // Nucl. instrum. and Meth. - 1968. - 58. 111.
2. Matsuda T., Norikawa N., Nakanishi Ts. et al. Phase-sensitive Detector for the determination of the polarization. - Preprint DPNU-89-61. - Nagoya Univ., 1989.
3. Киселев Ю.Ф., Сирунян А.М., Степанян С.С. Q-метр с цифровым регистратором // ПТЭ. - 1991. - №1. - С. 99.
4. Киселев Ю.Ф., Матафонов В.И. Измерение поляризации протонной поляризованной мишени. - Препринт Р13-10101, ОИЯИ, 1976.
5. Сирунян А.М., Степанян С.С. Аппаратура для измерения степени поляризации протонов в поляризованной мишени // Изв. АН АрмССР. Физика. - 1980. - 24. вып. 4. - С. 193.
6. Баятян Г.Л., Парфенов Л.Б., Степанян С.С. Система измерения степени поляризации для поляризованной мишени. - Препринт ЕФИ-740(55)- 84. - Ереван, 1984.

ЕрФИ

10.01.1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. П), т. XLIX, № 1, 1996, с. 44-47.

УДК 532.542

ГИДРАВЛИКА

Э.П. АЩИЯНЦ

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАШЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Առաջարկվում է ճնշման խողովակաշարի վրա հալադարձ փականից հետո տեղադրել օդային խուց, իսկ նրանից հետո ափսոսի վրա անցք ունեցող հալադարձ փական, որը փոքրացնում է օդային խուցի ծավալը ճնշումը թուլատրելի սահմաններում պահելու պայմանով: Բերված են հաշվարկային առնչություններ և փորձնական հետազոտության արդյունքներ:

Рекомендуется в начале напорного трубопровода насосной станции наряду с установкой воздушного колпака использовать также дополнительный обратный клапан с отверстиями в тарелки, что позволяет значительно уменьшить объем воздуха в колпаке. Приведены расчетные формулы и результаты экспериментального исследования.

Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

An auxiliary inverted valve with orifices in plates is recommended to use at the beginning of the pressure pipeline of a pumping station alongside with an air valve installation, and this permits to decrease, to a great extent, the air volume in a valve. The estimated formulas and results of experimental studies are given.

Ил 2. Ref. 4.

Одним из простых способов гашения гидравлического удара и vaporных трубопроводах насосных станций является установка воздушного колпака в начале трубопровода. В [1] приводится зависимость, определяющая максимальный напор в начале трубопровода при установке воздушного колпака, которая имеет вид

$$H_u = H_r - CV_u K / g, \quad (1)$$

где H_r — абсолютный гидростатический напор в начале трубопровода; C — скорости распространения волны гидравлического удара; V_u — максимальная обратная скорость в трубопроводе при заполнении воздушного колпака водой; g — ускорение силы тяжести; K — коэффициент, значение которого зависит от параметров C , H_r , а также ℓ , W_0 и A , где W_0 — объем воздуха в колпаке при абсолютном гидростатическом напоре H_r ; ℓ , A — длина и площадь сечения трубопровода.

В [1] приводится график зависимости коэффициента K от вышеуказанных параметров, согласно которому при больших значениях параметров H_r , A и ℓ для эффективного гашения гидравлического удара необходима установка воздушного колпака с большим объемом воздуха, что нецелесообразно, а в большинстве случаев невозможно. Поэтому наиболее рациональным представляется уменьшение обратной скорости течения жидкости в трубопроводе. Этого можно достичь путем установки на трубопроводе дополнительного обратного клапана с отверстиями в тарелке. На рис. 1 показана схема установки воздушного колпака на трубопроводе с дополнительным обратным клапаном.

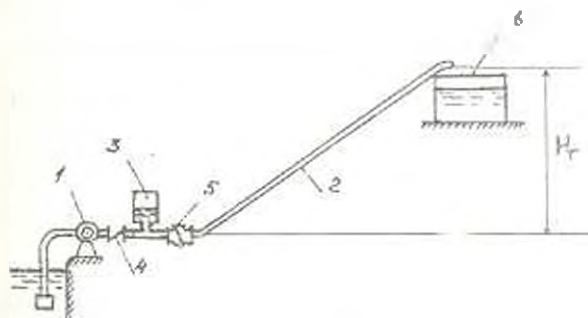


Рис. 1. Схема напорной установки

1 - насосный агрегат, 2 - напорный трубопровод, 3 - воздушный колпак, 4, 5 - основной и дополнительный обратные клапаны, 6 - резервуар.

При наличии дополнительного обратного клапана с отверстием в тарелке задачами расчета являются: определение площади отверстия в тарелке дополнительного обратного клапана, обеспечивающей заданное повышение давления в трубопроводе; расчет максимальной скорости заполнения колпака водой и максимального повышения давления в трубопроводе; определение оптимального объема воздуха в колпаке при напоре H_r .

Расчет производится методом последовательных приближений. Первоначальный объем воздуха в колпаке определяется по формуле [1]:

$$W_0 = A \ell V_0^2 / 2gH_r \left[(H_r - H_{\text{min}}) / H_{\text{min}} - \ln(H_r / H_{\text{min}}) \right], \quad (2)$$

где V_0 — скорость установившегося движения в трубопроводе;
 $H_{\min}$ — минимальный абсолютный напор в колпаке.

Имея W_0 , из уравнения Бернулли для неустановившегося движения получаем зависимость, определяющую объем жидкости, вытекшей из колпака при понижении давления от H_r до $H_{\min}$:

$$W_r = W_0 \ln(H_r / H_{\min}) + V_0^2 A l / 2g H_r \quad (3)$$

Если значение допускаемого напора в трубопроводе принять равным $H_k = H_r + h_{\text{тр}}$, где $h_{\text{тр}}$ — потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений при установившемся движении, учитывая, что процесс сжатия воздуха в колпаке происходит по изотермическому закону, то согласно [2], площадь отверстия A в тарели обратного клапана определится как

$$A_1 = \frac{1.06(H_k - H_a)\sqrt{gA}}{\mu C \sqrt{H_k - H_{\min}} (W_0 + W_r) / [(W_0 - W_r) - g A t_n (H_k - H_a) / C]} \quad (4)$$

где H_k — максимальное значение напора в трубопроводе при наличии воздушного колпака и отсутствии отверстий в тарели дополнительного обратного клапана; $\mu = 0.64$ — коэффициент истечения из малого отверстия; t_n — продолжительность повышения давления в трубопроводе до значения H_a .

Необходимо отметить, что при наличии воздушного колпака время значительно превышает фазу удара и определяется согласно [1, 3], а коэффициент сопротивления тарели с отверстием ξ_0 — по формуле [4]:

$$\xi_0 = (A / A_1 \epsilon - 1)^2, \quad (5)$$

где ϵ — коэффициент сжатия [4].

Значение максимальной скорости заполнения водой воздушного колпака рассчитывается по формуле [1]:

$$V_m = \sqrt{[a p^2 - b(p^2 s^2 - 2sp + 2) + (2b - ap^2)e^{-ps}] / p^3}, \quad (6)$$

где $a = 2g(H_r - H_{\min}) / \ell$, $P = \xi / \ell$, $b = 2g\beta H_{\min} / \ell$, $\beta = A^2 / W_0 W_r$,

$$S = W_r / A$$

Зависимость $V_m / V_0 - A_1 / A$ показана на рис. 2. Имея V_0 и K , согласно (1) определяется максимальный напор в трубопроводе. Если он превышает H_k , то необходимо несколько увеличить объем воздуха в колпаке и расчет повторить.

Для выяснения корректности рекомендуемых расчетных формул были проведены соответствующие эксперименты на напорной установке, где было смонтировано предлагаемое устройство. Длина трубопровода экспериментальной установки $\ell = 128$ м, диаметр трубопровода $d = 100$ мм, абсолютный статический напор в месте установки воздушного колпака $H_1 = 30.5$ м. До и после воздушного колпака на трубопроводе установлены обратные клапаны диаметром 100 мм. Гидравлический удар в трубопроводе создавался путем обесточивания двигателя насоса, подающего воду в трубопровод. Скорость распространения волны гидравлического удара составляла $c = 1100$ м/с.

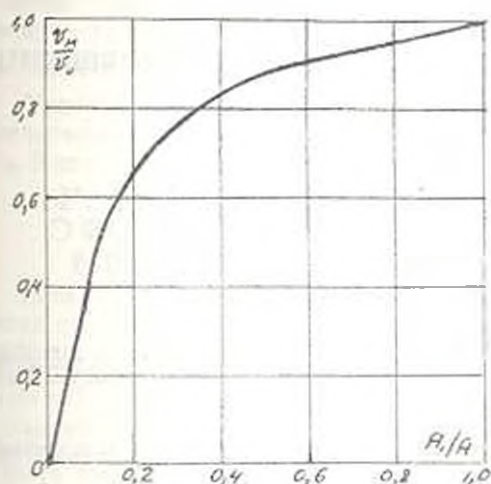


Рис. 2. Кривая зависимости V_u/V_0 от отношения A_1/A

отверстий в тарели дополнительного обратного клапана с суммарной площадью, равной $A_1/A=0,05$, и вышеуказанных значениях W_0 и V_0 , максимальный абсолютный напор равен $H_m=34$ м, т.е. не превышает его рабочего значения $H_r = H_0 + h_{тр} = 37,5$ м.

Таким образом, результаты расчета по предлагаемым формулам хорошо согласуются с экспериментальными данными, а использование дополнительного клапана с отверстиями в тарели позволяет значительно повысить эффективность гашения гидравлического удара и использовать воздушные колпаки с меньшим объемом воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ащиянц Э.П. Аналитические методы расчета воздушных колпаков-гасителей гидравлического удара // Изв. АН Армении. Сер. ТН.-1984. - Т.46, № 2. - С.
2. Ащиянц Э.П. Расчет площади отверстия в тарели обратного клапана с целью эффективного гашения гидравлического удара // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.-1982. - Т.27. 165.-С. 44-45.
3. Алышев В.М., Жаворонков Е.Г., Савостьянов А.Ф. Диаграммы для расчета воздушно-гидравлических колпаков-гасителей гидравлического удара // Вопросы проектирования оросительных систем / Сб. научн. тр. / Союзводпроект. - М., 1983. - С. 202-207.
4. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. - М., 1987. - 414 с.

АрмНИИВНИГ

10. 03. 1992

При наличии на трубопроводе только одного основного обратного клапана максимальный абсолютный напор при гидравлическом ударе H_m достигал 143 м, а при наличии воздушного колпака ($W_0=0,012$ м³)-60 м.

Значение минимального абсолютного напора $H_{мин}$ при $W_0=0,012$ м³ и $V_0=1,6$ м/с было равно 14 м. При установке на трубопроводе, помимо основного обратного клапана и воздушного колпака, также дополнительного обратного клапана без отверстий в тарели $H_k=77$ м ($W_0=0,012$ м³ и $V_0=1,6$ м/с). При наличии

И.Г. КРУАНВИЛИ

РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ ДВИЖЕНИЯ ВЗВЕСЕНЕСУЩИХ ПОТОКОВ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ ВДОЛЬ ПУТИ

Վախյալ-տանող հոսքերի հիդրոդինամիկական միաչափ հավասարումների կիրառմամբ ստացված են առնչություններ ուղղու երկայնքով փոփոխական ծախս ունեցող ողողվող հոսքերի պրոֆիլները հաշվելու համար:

С использованием одномерного уравнения гидродинамики взвесенесущих потоков получены зависимости для расчета профиля размываемых русел с переменным расходом вдоль пути движения.

Библиогр.: 2 назв.

Using one-dimensional equation for weighted carrier flow hydrodynamics the dependences for calculation of erodible channel profile with variable consumption along the flow path are obtained.

Ref. 2.

Рассмотрим неравномерное движение наносонесущего потока при следующих ограничениях. Пусть, вдоль пути изменяется только жидкий расход, что соответствует отбору воды отстойником или поступлению в водоток осветленной воды. Далее примем, что наличие наносов в потоке может быть определено в среднем по живому сечению объемной концентрацией, а гидравлические сопротивления учитываются коэффициентом Шези. С учетом этих допущений упрощенное уравнение гидродинамики взвесенесущего потока можно представить в виде [1]:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - Q^2/k^3 + 2Q^2 C^2 R / g \omega k^2 (\partial \omega / \partial x) - 2 \lambda V q / g \omega}{1 - \alpha Q^2 / g \omega} + \frac{(\alpha V^2 / g + \beta v / W) \sigma / (1 + \sigma S) (dS / dx)}{1 - \alpha Q^2 B / g \omega} \quad (1)$$

где B , R , ω — соответственно ширина на поверхности, глубина и площадь живого сечения потока; C — коэффициент Шези; S — средняя по сечению объемная концентрация наносонесущего потока; Q , k , q — расход, его модуль и интенсивность изменения; V — средняя скорость по сечению; β — параметр, учитывающий различие между коэффициентами турбулентного обмена несущей и несомой фаз, который зависит от относительной плотности $\rho_1 / \rho_{ж}$, крупности и формы несомой фазы и объемной концентрации взвеси; V — коэффициент турбулентного обмена смеси, σ — безразмерная величина, определяемая соотношением $(\rho_1 - \rho_{ж}) / \rho_{ж}$; ρ_1 , $\rho_{ж}$ — плотности твердой и жидкой фаз; α — полный корректив количества движения, учитывающий неравномерность

распределения усредненных скоростей и пульсацию скоростей по сечению потока; i — уклон дна водотока; R — гидравлический радиус; g — ускорение силы тяжести; W — гидравлическая крупность наносов.

Условие $dh/dx \cong 0$ означает, что глубина потока изменяется незначительно во времени в основном из-за вертикальных деформаций русел. В силу этого уравнение (1) принимает вид

$$i - \frac{Q^2}{K^2} + \frac{2Q^2 C^1 R}{g \omega k^2} \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{2 \alpha V^2}{g \omega} + \left(\frac{2V^2}{g} + \frac{\sigma v}{W} \right) \frac{dS}{dx} = 0. \quad (2)$$

При $h = \text{const}$ по длине происходит изменение жидкого сечения и расхода потока, что указывает на неравномерность режима движения и возможность решения частных задач водной эрозии при $\partial \omega / \partial x \neq 0$ и $\partial \omega / \partial x = 0$. Рассмотрим случай, когда $\partial \omega / \partial x \neq 0$ и изменение расхода взвешенного потока происходит только за счет жидкого расхода. По всей длине канала должна поддерживаться неизменяющаяся скорость с целью удовлетворения $h = \text{const}$.

По всей длине для коротких участков канала размер частиц наносов можно принять неизменным. Допущение о неизменяемости русла эквивалентно условию $V = \text{const}$, следовательно, уравнение неразрывности можно представить в виде

$$dQ/dx = V d\omega/dx = q. \quad (3)$$

Совместно решая (2), (3) и имея в виду, что $dy = dx = -i$, $d\omega/dx = \partial \omega / \partial x + B dh/dx$ и при $R = \text{const}$, $\partial \omega / \partial x = d\omega/dx$, с учетом граничных условий $x = 0$, $y = y_0$, $\omega = \omega_0$, $S = S_0$; $x = x_1$, $y = y_1$, $\omega = \omega_1$, $S = S_1$ после интегрирования получим

$$Y_0 - Y_1 = \frac{2V^2}{g} \ln \frac{\omega_1}{\omega_0} + \left(\frac{2V^2}{g} + \frac{\beta v}{W} \right) \ln \frac{1 + \sigma S_0}{1 + \sigma S_1}, \quad (4)$$

где величины с индексом "0" относятся к начальному, а с индексом "1" — к конечному створу канала.

Площадь в конечном створе можно получить в результате интегрирования уравнения (3)

$$\omega_1 = \omega_0 + q l / V,$$

где l — расстояние между начальным и конечным сечениями.

Если принять, что $S = S_1 = 0$, а $2 = 1$, зависимость (4) преобразуется в уравнениях Коновалова И.Н. [2] для чистого водного потока.

Для случая $\omega = \text{const}$ уравнение (3) принимает вид

$$i - \frac{Q^2}{K^2} - \frac{2 \alpha V}{g \omega} q + \left(\frac{\alpha V^2}{g} + \frac{\beta v}{W} \right) \frac{\sigma}{1 + \sigma S} \frac{dS}{dx} = 0. \quad (5)$$

Поскольку h , ω , $Q_1 = \text{const}$, $\sigma S \ll 1$ и $dS = -Q_1 dQ / Q$, с учетом граничных условий после интегрирования уравнения (5) получаем

$$Y_0 - Y_1 = \frac{Q_1^2 - Q_0^2}{3 q C^1 \omega R} + \frac{2(Q_1^2 - Q_0^2)}{g \omega} +$$

$$+ \frac{2\sigma(Q_1 - Q_0)}{g\omega^2} - \frac{\beta\nu\sigma Q_1}{W} \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_0} \right). \quad (6)$$

Зависимость (6) позволяет при заданной глубине построить продольный профиль призматического русла в случае изменения расхода вдоль пути лишь за счет жидкого компонента смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Натяшвили О.Г. О переносе твердых взвешенных частиц турбулентным русловым потоком: Тр. ГрузНИИГим.-Тбилиси, 1965.-Вып. 23 - С. 159-174.
2. Макковеса В.М., Коновалов И.М. Гидравлика.-М.: -ИЛ: Речиздат. - 1940.-643 с.

Груз. аграрн. университет

3. 07.1995

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН). т. XLIX. № 1, 1996, с. 50-54.

УДК 624.21.04

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А.М. АВЕТИСЯН, А.А. ГЮЛЗАДЯН, А.С. ШАКАРЯН,
А.А. АВЕТИСЯН

ИСПЫТАНИЕ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ АРАКС

Բերված են ԲՀ և ԻԻՀ միջև Արաքս գետի վրա կառուցված կամրջի ստատիկ փորձարկման արդյունքները: Փորձարկող բեռնվածքների ազդեցության դեպքում որոշվել են զլխավոր հեծանների թռիչքների կենտրոնում ձկվածքների, ինչպես նաև հատվածքում լարումների մեծությունները և համադրվել տեսական հաշվարկներով այդ նույն բեռնվածքներից ստացված ձկվածքների և լարումների հետ: Ստացված արդյունքներով հաստատվել է փորձարկող բեռնվածքների և տեսական հաշվարկային մեթոդիկայի ճիշտ ընտրությունը:

Приведены результаты статических испытаний моста через реку Аракс, построенного между РА и ИИР. Определены прогибы главных балок в середине пролета, и также напряжения в данном сечении от нагрузки. Результаты сопоставлены с теоретическими значениями, полученными от той же нагрузки. Установлена правильность выбора испытательной нагрузки и расчетной методики.

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

The results of the static testing of the bridge across the river Arax built between Republic of Armenia and Islamic Republic of Iran are given. Basic beam deflections in the middle of the span as well as load stress in the given cross-section are evaluated. The results are compared with theoretical values obtained from the same load. The validity of the test load selection and design method is determined.

Ил. 5. Tables 2. Ref. 2.

Мост через реку Аракс в Мегринском районе между Республикой Армения и Иранской Исламской Республикой построен Мостотрядом № 107

треста "Армтрансстрой" по проекту, выполненному в институте "Армгипротранс", и введен в эксплуатацию 26 декабря 1995 г. после обследования и испытания, осуществленных мостопробной станцией кафедры АД и М ЕрАСИ.



Рис. 1. Общий вид моста

Конструкция моста представляет собой разрезную трехпролетную балочную систему по схеме $1 = 3 \times 63 \text{ м}$ (рис. 1). Несущими конструкциями моста являются металлические балки сплошного сечения, объединенные железобетонными сборно-монолитными плитами проезжей части (рис. 2). Ширина проезжей части - 11,5 м с двухсторонними тротуарами - по 1 м.

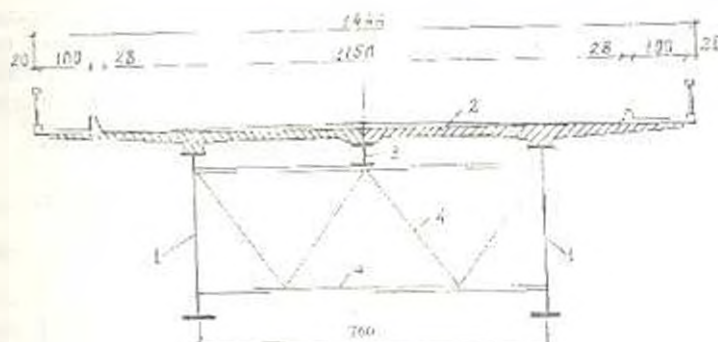


Рис. 2. Поперечное сечение моста: 1 - главные балки сплошного сечения; 2 - железобетонная плита проезжей части; 3 - продольная балка; 4 - поперечные связи

Перед статическими испытаниями была проведена обкатка моста автоколонной, состоящей из восьми груженых автосамосвалов (КАМАЗ-5511) с интервалом друг от друга 5 м, движущихся со скоростью 5 км/ч. Перед испытанием автосамосвалы были взвешены на контрольных весах грузоподъемностью 500 кН. Средний вес испытательного автосамосвала составил 220,5 кН, средний вес на передние оси - 48,75 кН, а на задние - $2 \times 85,875 \text{ кН}$. Автоколонна последовательно была пропущена по середине проезжей части и по осям главных балок. Статические испытания моста

были проведены согласно [1] для всех трех пролетных строений моста. В крайних пролетных строениях во время испытания измерялись прогибы в середине главных балок, на концах консолей плиты проезжей части, а также в середине продольной балки. Кроме того, для всех трех пролетных строений измерялись относительные деформации на разных уровнях высоты главных балок, на плите проезжей части и на продольных балках.

На проезжей части моста испытательная нагрузка была установлена эксцентрично относительно продольной оси моста размером 0,4 м. Для первого и второго пролетных строений эксцентриситет относительно продольной оси моста был предусмотрен в низовую сторону моста, для третьего пролетного строения - в верховую.

Испытательная нагрузка передавалась на каждое пролетное строение этапами (2 машины, 4 машины, 8 машин). В конце каждого этапа брались отсчеты по приборам. Прогибы элементов пролетного строения измерялись прогибомерами Максимова с ценой деления 0,1 мм (табл. 1).

Таблица 1

Наименование пролета	Прогибы главных балок	
	верховая балка	низовая балка
Левобережный (I)	26,6	22,9
Правобережный (III)	22,3	31,1

По данным табл. 1 были вычислены фактические значения коэффициентов поперечной установки (КПУ)

$$K = f_i / \sum f_i$$

где f_i — прогиб i -й балки; $\sum f_i$ — сумма прогибов балок.

Полученные таким образом значения КПУ были сопоставлены с соответствующими расчетными значениями, определенными по методу рычага. На рис. 3 приведено это сопоставление, что свидетельствует о правильности выбора метода для расчета балочной системы объединенного сечения.

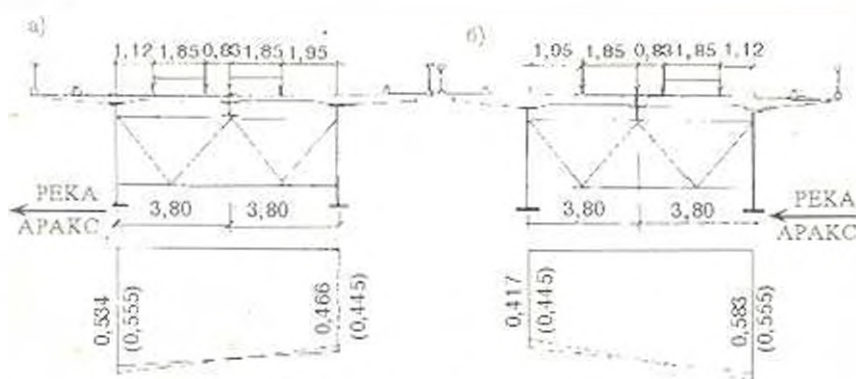


Рис. 3 Сопоставление фактических и расчетных значений КПУ от испытательной нагрузки а) первый пролет, б) третий пролет. — фактические КПУ, — расчетные КПУ (цифры в скобках).

Для оценки реального состояния конструкций были определены соотношения между суммарными фактическими и расчетными прогибами главных балок под испытательной нагрузкой. Это соотношение для первого пролетного строения составило 0,913, а для третьего - 0,985. Полученные данные свидетельствуют, что работа пролетных строений соответствует принятому расчетному методу.

Изгибающий момент в середине сечения первого пролета составил 72,5, 80,6 % от максимального расчетного значения при статических нагрузках [2], определенных при коэффициенте надежности $\gamma_{\text{ст}} = 1$ и динамическом коэффициенте $[1 + \mu > 1]$, что соответствует требованиям норм и подтверждает правильность выбора испытательной нагрузки.

Таблица 2

Результаты измерения относительных деформаций и напряжений главных балок в середине пролетных строений

Наименование пролетов	Расположение балок	Расстояние от нижнего фибрового волокна главных балок, мм			
		64	1264	2464	3664
Левобережный (I)	нижняя	+21,0	+14,0	+3,5	-1,0
		+44,1	+29,4	+7,4	-8,4
	верховая	+17,0	+11,0	+3,0	-3,5
		+35,7	+23,1	+6,3	-7,4
Средний (II)	низовая	+22,0	+14,0	+4,5	-5,5
		+46,2	+29,4	+9,5	-11,6
	верховая	+17,0	+11,5	+3,5	-4,0
		+35,7	+24,2	+7,4	-8,4
Правобережный (III)	нижняя	+14,5	+10,5	+3,5	-3,5
		+30,5	+22,1	+7,4	-7,4
	верховая	+22,5	+15,5	-5,0	-5,5
		+47,5	+32,0	+10,2	-11,6

Примечание: 3 числителя правых 6 значений - фактические деформации, а в знаменателе - нормальные напряжения σ МПа.

Напряженное состояние в сечениях 1-х, 2-х, продольных балок и железобетонной плиты проезжей части определено с помощью электротензодатчиков и электронно-измерительной аппаратуры МИД-М (табл. 2).

На рис. 4 приведено соотношение фактических и расчетных нормальных напряжений в среднем сечении главных балок от испытательной нагрузки. Это еще раз подтверждает соответствие принятой расчетной схемы с удовлетворительной работой несущей конструкции.

Используя данные замеров относительно деформации на нижних и верхних точках балок пролетных строений, вычислены значения кривизны в средине

$$1/\rho = (\varepsilon_n - \varepsilon_{\text{н}})/h,$$

где $\varepsilon_{н}$, $\varepsilon_{в}$ — фактические значения относительных деформации на уровне нижнего и верхнего поясов. h — расстояние между точками измерения.

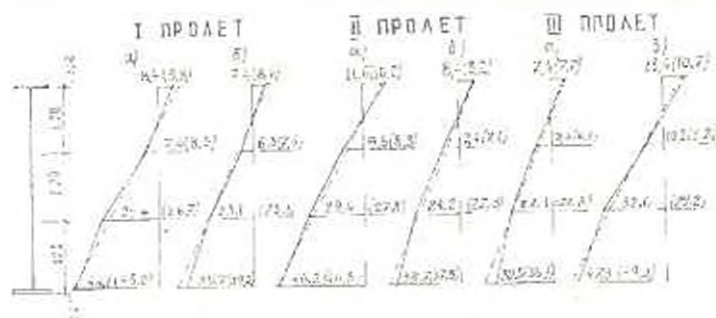


Рис. 4. Сопоставление фактических и расчетных эпюр нормальных напряжений (МПа) в середине главных балок пролетных строений:

а) верхняя балка, б) нижняя балка

— фактические напряжения, --- расчетные напряжения (цифры в скобках)

Полученные значения кривизны $1/\rho$ позволили составить графическую зависимость $f = \varphi(1/\rho)$ для крайних пролетных строений (рис. 5) и определить прогибы главных балок среднего пролетного строения, которые при испытании не были замерены. Согласно рис. 5, прогибы второго пролетного строения составили для верхней балки $f=23,2$ мм, для нижней — 30,3 мм.

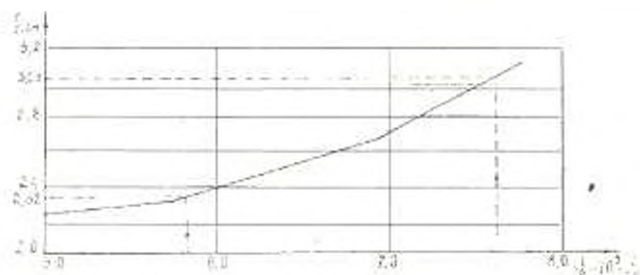


Рис. 5. Фактическая зависимость прогибов и кривизн главных балок

В целом, полученные значения прогибов всех трех пролетных строений, приведенные к нормативному, свидетельствуют о большой вертикальной жесткости конструкции. Соотношение f/L составило для первого пролета $1/2140$, для третьего пролета $1/2000$, что намного меньше нормативного значения $1/400$.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 3.06.07.86, Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Госстрой СССР - М., 1987 - 40 с.
2. СНиП 2.05.05.84, Мосты и трубы. Нормы проектирования. Госстрой СССР - М., 1985 - 196 с.

ЕрАШИ

2.04. 1996

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Բազիկյան Ն.Ա., Ալոյան Ա.Ն., Նիկողոսյան Վ.Ռ. 14 կմ. դասի անվավոր համապիտանի շարահերքային տրակտորի քննադրային սահունության վորձնավան հետազոտումը	3
Բաբայան Ռ.Ա. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հաշվարկը P-Q-տեսքի կայանային հանգույցների դեպքում	6
Բաղայան Գ.Ա. Էլեկտրական համակարգերի Z-քնդիանրացված պարամետրերի մատրիցի որոշման մի մեթոդի մասին	11
Առաքելյան Վ.Պ., Խաչատրյան Կ.Վ., Ալ-Դերվիշ Մ.Բ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի հաշվման մի մեթոդի մասին	17
Արամյան Մ.Ա. Անհամասն համակարգի միջինացված պարամետրերի հաշվարկը Դրինի թեորեմի կիրառումով	23
Կիրակոսյան Գ.Տ., Մակարյան Գ.Ա., Շաքոյան Ա.Ս. Ուժային տրանզիտորների ուժեղացման գործակցի հագեցման լարումից առնչության ֆիզիկական առանձնահատկությունները	27
Արեշյան Գ.Լ. Բազմակապ համակարգերի էներգետիկական մատրիցներ	32
Բյոյմ Բ., Կիրակոսյան Գ.Տ. Տանքանյութի համալիր լավարկված տեխնոլոգիական սխեմայի քննությունը	36
Սիրունյան Ա.Մ., Ստեփանյան Ս.Ս. Ֆազագզայուն դետեկտորի հիման վրա միջուկային լանդաւման չափման Q-մոդոր	41
Աշխյանց Է.Պ. Պոմպակայանների մղման խողովակաշարերում հիդրավիկական հարվածի մարման արդյունավետության բարձրացման եղանակ	44
Կրուաշվիի Ս.Գ. Ուղու երկայնքով փոփոխական ծախս ունեցող կախյալ-տանող հոսքերի որոշ մասնակի խնդիրների լուծումը	48
Ավետիսյան Ա.Մ., Գյուլգառյան Տ.Տ., Շաքարյան Ա.Ս., Ավետիսյան Ա.Ա. Արաքս գետի կամրջի փորձարկումը	50

СОДЕРЖАНИЕ

Базикян Н.А., Алоян А.Н., Никогосян В.Р. Экспериментальное исследование плавности хода колесного универсально-пропашного трактора кл. 14 кН	3
Бабаян Р.А. Расчет установившегося режима электроэнергетической системы при Р-Q - типе станционных узлов	6
Бадалян Г.А. Об одном методе определения Z-матрицы обобщенных параметров электрических систем	11
Аракелян В.П., Хачатрян К.В., Аль-Дарвиш М.Б. Об одном методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы	17
Арамян М.А. Расчет усредненных параметров неоднородных систем с использованием теоремы Грина	23
Киракосян Г.Г., Макарян Г.А., Шабоян А.С. Физические особенности зависимости коэффициента усиления от напряжений насыщения для силовых транзисторов	27
Арешян Г.Л. Энергетические матрицы многосвязных систем	32
Бейм Б., Киракосян Г.Т. Выбор оптимальной технологической схемы комплексной переработки минерального сырья	36
Сирунян А.М., Степанян С.С. Q-метр для измерения ядерной поляризации на основе фазочувствительного детектора	41
Ашмянц Э.П. Способ повышения эффективности гашения гидравлического удара в нагнетательных трубопроводах насосных станций	44
Круашвили И.Г. Решение некоторых частных задач движения взвешенных потоков с переменным расходом вдоль пути	48
Аветисян А.М., Гюлзаян А.А., Шакарян А.С., Аветисян А.А. Испытание моста через реку Аракс	50

CONTENTS

Bazikyan N.A., Aloyan A.N., Nikoghossyan V.K. Experimental studies on stroke smoothness for wheeled general-purpose plough tractor cl. 14kH	3
Babayan R.A. Calculation for steady-state conditions of an electronical power system in stationary units of P-Q -type	6
Badalyan G.A. On a method of Z-generated electrical systems parameter determination	11
Arakelyan V.P., Khachatryan K.V., Al-Darvish M.V. On a method of calculation for steady-state conditions of an electrical power system	17
Aramyan M.A. Calculation of average parameters for inhomogeneous systems using Green's theorem	23
Kirakossyan G.H., Makaryan G.A., Shaboyan A.S. Physical characteristics of current gain dependency on the collector-emitter saturation voltage of power transistors	27
Areshyan G.L. Energy matrices of multilinked systems	32
Beym B., Kirakossyan G.T. Selection of an optimal technological circuit for complex machining of mineral raw material	36
Sirounyan A.M., Stepanyan S.S. Q-meter for nuclear polarization measurements based on a phase-sensitive detector	41
Ashchyants E.P. A method of increasing hydraulic shock dissipation efficiency in pressure pipelines of pumping stations	44
Krouashvili I.G. Solution of some partial problems for weighted flow with variable consumption along the flow path	48
Avetissyan A.M., Gyulzadyan H.M., Shakaryan A.S., Avetissyan A.A. Testing of the bridge across the river Arax	50